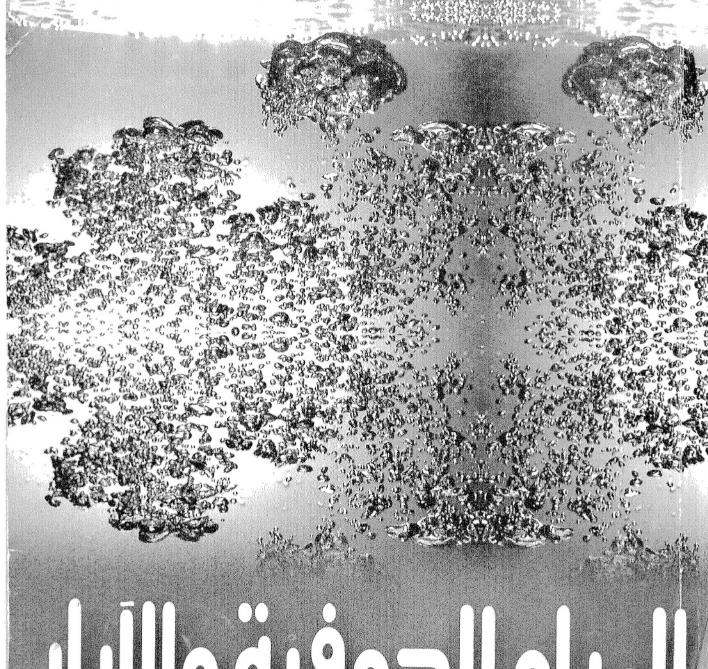
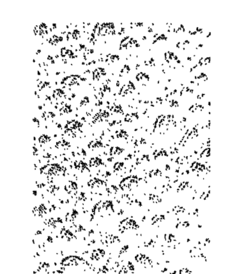


المياه الجوفية والآبار

Ground Water And Wells

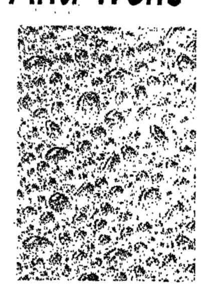
مهندس استشارى

محمد أحمد السيد خليل



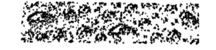
المياه الجوفية والآبار

Ground Water And Wells



مهندس استشارى

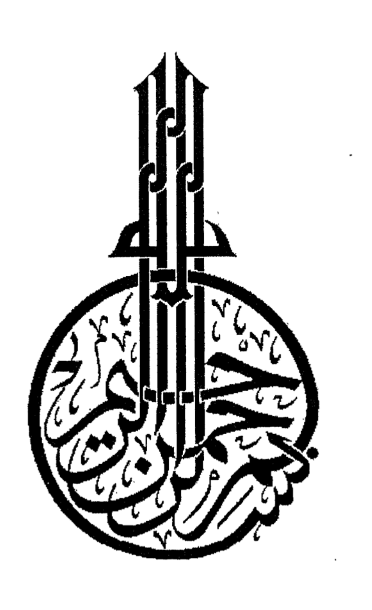
محمد أحمد السيد خليل



رقـم الإيـداع بدار الكتب : ٢٠٠٣/٢٦٤٧
الترقيـــم الدولـــــــي : ٦-٢٩٩-٢٨٧-٩٧٧

دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع
٥٠ شارع الشيخ ريحان – عابدين – القاهرة
☎ ٧٩٥٤٢٢٩

لمزيد من المعلومات يرجى زيارة موقعنا على الأنترنت
www.scientificbookhouse.com
e-mail: sbh@link.net


بسم الله الرحمن الرحيم

تقديم :

إن محدوديـــة الوارد المائية في مصر والتي تتمثل في حصة مصر من مياه النيل وهى ٥,٥٥ مليار متر مكعب في العام ، يحتم البحث عن موارد إضافية لتلبية متطلــبات التوسع الزراعى والتنمية والإعاشة لاحتياجات الزيادة المستمرة في عدد السكان . المورد المتاح والاقتصادى والذى يمكن من الزيادة فى الموارد المائية هو المــياه الجوفــية . ففى مصر ستة خزانات جوفية منها خمسة خزانات جوفية فى المــناطق الصحراوية وفى تخوم الدلتا والوادى ، تشغل هذه الخزانات الجوفية ما يــزيد عــن ٦٠% مــن مساحة مصر . ولهذا فإن استغلال الخزانات الجوفية هو الوســيلة الوحيدة لزيادة المساحة الآهلة بالسكان في مصر من ٦% كما هو الوضع الحالى حيث الكثافة السكانية العالية إلى ٢٥% وهو المستهدف للخروج من الوادى الضيق إلى تخوم الدلتا والوادى والمناطق الصحراوية .

إن الاستغلال الآمن للخزانات الجوفية يحتاج إلى دراسات هندسية متخصصة . ولهــذا تم إعداد هذا الإصدار باللغة العربية حيث تم تناول الموضوعات المتعلقة بالخزانات الجوفية والآبار . وبما يفيد العاملين فى هذا المجال من المهندسين وكذلك الدارسين والباحثين في توفير الإنتاج الآمن والمستمر للمياه الجوفية .

والله الموفق

مهندس استشارى

محمد أحمد السيد خليل

الفصل الأول

معلومات أساسية عن التربة والمياه الجوفية

١

التربة الحاملة للمياه الجوفية

١- خواص الصخور والتربة (Roct And Soil)

الخـــواص الطبيعـــية والجيولوجية للمجال الذى تتسرب فيه المياه الجوفية تؤثر على نوعية المياه الجوفية ومسارها . يمكن التعرف على هذه الخواص بدراسة الأصل الجـــيولوجى لهذه المكونات وكيفية تكوينها ، وهذه المكونات التى سيتم مناقشتها حيث تـــتحرك المياه الجوفية خلالها ، تشمل الصخور والتربة المتكونة أصلاً من الصخور والتى تعرف أحياناً بالصخور الغير متماسكة (Unconso Lidated rocks) .

تكوينات الصخور : Rock Formations

الصـــخور كانت ولا زالت تتكون باستمرار نتيجة عمليات طبيعة مختلفة ، مثل التـــبريد للصـــخور المنصهرة فى شكل مصهور ساخن (magma) والتى تتسرب من أعمـــاق كبـــيرة تحت سطح القشرة الأرضية ، ترسيب المواد الغير عضوية فى الماء والـــبحار من مختلف الكائنات الحية ، تكثيف مختلف الغازات المحتوية على جسيمات معدنية، تفتت صخور أخرى لأسباب مختلفة ثم التراكم التالى للتكوينات الناتجة لتكون أنواع جديدة من الصخور وكذلك نتيجة زيادة الضغوط على الصخور المتكونة . يمكن تقســيم الصخور على أساس الأصل كصخور نارية أو بركانية (Igneous) أو صخور رسوبية (Sedimentary) أو صخور متحولة (Metamorphic) .

كـــلاً مـــن هذه الأنواع من الصخور له الشكل العام المميز من ناحية التكوين ، المظهر ، المكونات . بعض الأنواع الرئيسية سيتم مناقشتها .

الجرانيت (Granite) : الجرانيت هو صخر بركانى أو نارى ، لون الجرانيت يتغير مـــن رمادى فاتح إلى الأحمر الغامق ، يتكون أساساً من الفلدسبار (Feldpar) إلـــى ٦٠% ، الكوارتـــز ٢٠% ، المـــيكا ، الهورنبلند Hornblend (نوع من الصـــخور القرنية). تركيب الجرانيت عادة صلب ومتماسك وينقسم إلى كتل ضخمة ، ولكن التلاصق القريب جداً يعطى شكل المسطح.

الصخور البركانية (Volcanic Rooks) : وهى صخور نارية ، وهذه قد تكون صلبة أو تكــون محتوية على مواد مفككة لها نفازيه مثل الرمال والأحجار المساميه المتكونه من رماد البراكين (tuff) أو من رماد البراكين (ashes). البازلت) Basalt (مثال للصخور البركانية ولونه يختلف من الرمادى الغامق إلى الأسود ويتميز بعدم وجود الكوارتز وتوفر البلاجيوكليز (Plagioclase) وهو نوع من الفلسبار ، ووجود كميات كبيرة من البيروكسين (Pyroxine) وهو مركب من سيليكات المغنسيوم والكالسيوم ، الأوليفين (Olivine) وهو الزبرجد الزيتونى . وعموماً فإن البازلت يتكون من حبيبات رفيعة . أهم مظاهر تكوينات البازلمت هــو التوصــيل العمــودى (Columnar Jointing) والذى يتكون غالباً فى شكل سداسى (Hexagonal) . البازلت المفكك يكون له لون الصدأ .

الحجر الرملى (Sandston) : وهو من الصخور الرسوبية ، الحجر الرملى له مظهر مــا بيــن الحبيبات الرفيعة والخشنة المتماسكة أو المتداخلة . الكوارتز يشبه الحجر الجيرى (Limestone) ولكن أشد صلابة ويحتوى على كميات متساوية مــن الفلدســبار والكوارتز . ويوجد نوع من الحجر الرملى المسمى (Gray Wacke) له لون ما بين الرمادى الغامق والأسود وهى عبارة عن حجر رملى ملتصــق بالســيليكا أو الطفلة أو الطين الصلصال (Clay) . وقد تحتوى من الجــرى ويك (Gray Wacke) على شرائح من المحار أو الاردواز Slate وهو صخر يسهل قطعة .

الحجــر الجــيرى (Lime Stone) : وهو من الصخور الرسوبية وله مظهر ما بين الــناعم والخشن وقد يكون لونه أبيض أو أصفر أو بنى أو رمادى أو كل هذه الألــوان مجتمعة . يتكون الحجر الجيرى أساساً من كربونات الكالسيوم وفى حالة عدم وجود انقسامات أو مجارى للانصهار يكون مانع للنفاذية أو قد يكون ذو مسام وله مظهر مفكك . يعتبر الطباشير والمارل (Marl) من أحد أشكال الحجــر الجيرى الأخرى (المار هو طين غنى بكربونات الكالسيوم يستعمل

سماد) .

المحار (Shales) وهو رسوبى : وهى صخور مكونة من غالباً ما تكون ذات لون غـامق . تتكون من حبيبات فى حجم حبيبات الطفلة وفى بعض الأحيان من حبيـبات فى حجم حبيبات الرمل والطفلة . المحاور يتراوح في قوته ما بين اللـيونة أو الصـلابة طـبقاً لشـكل الحبيبات وخصائصها ودرجة إدماجها والتصاقها .

المخـتلطة Conglomerate رسـوبية : الشكل العام يختلف ما بين الحبيبات الناعمة والخشنة ما بين المتلاصقة المفككة ، عادة ١٠% أو أكثر من الحبيبات يكون خشن وأكبر من خشونة الرمال .

الشسـت (Schist) : وهو من الصخور التحويلية . الشست صخر متبلر ينغلق إلى طبقات وإن كانت هذه الطبقات (Foliation) لا تكون مرئية بالعين المجردة . بعض أنواع الشست يتكون كلية من السيليكا مكوناً كتلة كبيرة . عادة مستويات الفلوق المغمورة تختلف عند عمق الكتلة .

الإردواز (Slate) : صـخور تحويلية ، وهذه صخور طبقية ذات ملمس ناعم جداً . وهى ذات لون غامق أسود ويسهل بريها .

يحـدث للصـخور دورة جيولوجية تحتوى على ثلاث تأثيرات غالباً ، التعرية (Denundation) ، الترسـيب (Deposition) ، حـركة الأرض . مكونات سطح التربة يكون نتيجة هذه التأثيرات المستمرة ، مكوناً الجبال ، الوديان ، الأنهار ، البحيرات ، بحـور الـرمال ، السـهول ، الأخاديد (Gullies) والظواهر ذات الأشكال الجغرافية الطبيعـية الأخـرى . تكون التعرية بسبب التغير الحاد في درجات الحرارة وتأثيرات الرياح والمياه . تدمير الصخور بهذه التأثيرات يشمل الإزابة والترسيب والبرى وتفتت الحبيبات. ناتج هذا التفتت يتم نقلها بواسطة الماء و / أو الرياح وبالتالى تنقل وترسب فى أماكن أخرى . من الناحية الجيولوجية فإن بعض هذه النواتج التى تكونت وتحركت بأنهـار الجليد، تحدث التحركات الأرضية بسبب عدم تساوى الضغوط نتيجة المراحل

المـــتدرجة للـــتعرية والترســـيب . تستمر التحركات حتى الوصول إلى حالة الإتزان (الاستقرار) . الحالات البركانية يمكن اعتبارها نتيجة التحركات الأرضية .

تكوين التربة (Soilformation) :

تعـــرف نواتـــج تفتـــت الصـــخور بالصـــخور المفتـــتة أو الغـــير متماســـكة (unconsolidated) . يمكـــن تعريف التربة بأنها المادة التى تتفتت إلى حبيبات مستقلة بواسطة الأدوات الميكانيكية البسيطة مثل التقليب فى الماء أو بتسليط ضغط منخفض . الصـــخور المـــتأثرة بـــالعوامل الجوية تكون أضعف في قوتها عن التربة ، إلا أنها كصـــخور نظـــرا لمحافظتها على كل ظواهر الصخر عدا التماسك . سطح الصخور المعرض يعرف بالبروز الخارجى (outcorp) ، حتى وإن تم تغطيتها بعد ذلك برواسب الرمال .

يمكن أن تقسم التربة طبقا لطريقة تكوينها إلى رسوبية أو منقولة .

التربة المختلفة أو الباقية (Rasidual Soils)

الـــتربة المتخلفة تكون فوق الصخور الأصلية مباشرة التى تكونت منها بسبب تأثـــيرات العوامـــل الجويـــة . سمك التربة المتخلفة الناتجة عن الصخور النارية أو التحويلية من المتوقع أن يكون صغير نظرا للمقاومة العالية لمثل هذه الصخور للعوامل الجوية . ولكن المقاومة الضعيفة للحجر الجيرى للإذابة نتيجة وجود ثقوب وتجاويف ، وقـــنوات ، مجـــارى تحت الأرض بالإضافة إلى التربة المختلفة – عميقة فإن سمك الـــتربة المختلفة يتراوح ما بين ١,٥ متر إلى ١٥متر طبقا للظروف المناخية المحلية والظروف الطبوغرافية الطبيعية .

خواص التربة Soil Properties :

تســـتخدم لمباحث التربة تقسيمات للتعرف الأولى على التربة . وهذه توفر لغة واحـــدة ما بين الموقع والمعمل . طرق التقسيم المتاحة على المظهر والقوام . وهذه تعتبر الخطوة الأولى التى يبنى عليها التخطيط للاختبارات والمباحث .

التعرف على التربة والاختبارات الأساسية :

يمكـــن التعرف على التربة من الشكل العام كزلط ، رمل ، الطفلة silt ، الطمى (clay) التربة الطبيعية تتكون من واحد أو أكثر من هذه الأنواع وقد تحتوى على نسب متغـــيرة مـــن المـــواد العضوية . ولذلك فإن الطفلة تعرف بالطفلة الرملية أو الطفلة الزلطـــيه أو الطفلـــة المحـــتوية على مواد عضوية أو طفلة فقط . معظم الأنواع يتم التعرف عليها بحجم الحبيبات . فمثلا حجم حبيبات الزلط يتراوح ما بين ٣ مم إلى ٧٥ مم طبقا للاختبارات القياسية جدول (١/١) الحبيبات الأكبر تسمى حبيبات (granulas) . والحبيبات الكبيرة جدا أكثر من ٣٠ سم تسمى الجلمود (Boulders) مثل الموجود فى ســاحات الـــتربة الجلـــيدية . الأجسام من الزلط أو الرمل يمكن التعرف عليها بالعين المجـــردة أو باللمس ، بينما حبيبات الطفلة (Slit) والطمى (Clay) يمكن التعرف عليها فقط بالطريقة الميكروسكوبية وغالباً ما يتم بطريقة الميكروسكوب الإلكترونى ، كل من الزلط والرمل ينتمى إلى المجموعة الخشنة بينما الطفلة والطمى تنتمى إلى المجموعة الناعمة ، حبيبات التربة الخشنة عادة غير متماسكة بينما التربة الناعمة يكون لها لدونة (Platicity) بســـبب التصـــاق حبيـــباتها (عدا بعض أنواع الطفلة ذات الحبيبات الغير متماسكة مثل بودرة الصخر Rock Floor) .

الأنـــواع الرئيسية للتربة الناعمة هى الطفلة الغير عضوية (لدنة وغير لدنة) الطمـــى الغير عضوى ، الطفلة العضوية ، الطمى العضوى ، الطفلة اللدنة ، تحتوى على حبيبات صغيرة جداً على شكل قشور أو صفائح أو إبر .

كـــلاً من الطفلة اللدنة والطمى يتكون من حبيبات بللورية لها خاصية الغرويه (Colloidal) وهـــى اللدونة والالتصاق والقدرة على امتصاص الأيونات . بعض الطفة غـــير بللـــورى . المواد العضوية تحتوى على مواد عضوية ناعمة جداً مثل النباتات المتآكلة والكائنات الدقيقة والمحار . يتغير لون التربية ما بين رمادى غامق إلى الأسود طبقاً لكمية المواد العضوية وتاريخ تحللها . فى حالة وجود كميات صغيرة من المواد العضـــوية يمكـــن الكشـــف عـــنها بالرائحة عند التسخين للتربة والكميات من المواد

العضوية تكتشف بالرائحة بدون تسخين . عادة ليس من الضرورى التفريق بين الطفلة العضـــوية والطمـــى العضوى حيث يعرف كليهما عادة بالتربة العضوية . مثل هذه التربة لها درجة انضغاط عالية .

جدول (١-١) مقارنة مراحل تقسيم التربة

قطر الحبيبات طبقا للنظام الأمريكى عام١٩٧٠

قطر الحبيبات بالمليمتر

٠,٠٠٠١	٠,٠٠٣	٠,٠٠٥	٢	١٠٠	قطر الحبيبات باللميتر
طمى غروى	زلط	طفله	رمل		نوع مادة التربة

نظـــراً لعـــدم إمكان التمييز ما بين الطفله والطمى فإنه ينفذ اختبار يدوى بسيط للتعرف على التربة ذات الحبيبات الناعمة جدول (٢-١).

جدول (٢-١) الإختبار الميدانى اليدوى للتربة ذات الحبيبات الناعمة

نوع التربة	القوة فى حالة الجفاف	صلابة شريط لدن
طفله رمليه	لا شئ حتى ضعيف جداً	ضعيف إلى هش
طفله	ضعيفة جداً إلى ضعيفة	ضعيف إلى هش
طمى طفلى	منخفض إلى متوسط	متوسطة
طفله طينية	متوسط إلى عالى	متوسطة
طفله	عالى إلى عالى جداً	صلب
طفله عضوية	منخفض إلى متوسط	ضعيف إلى هش

الإختبارات المعملية للتربة :

التعيين المعملى لمتوسط الكثافة لحبيبات التربة :

يـــتم للـــتربة المحتوية على مواد عضوية أو مواد معدنية . التربة العضوية لها كـــثافة مختلفة وهى عادة أقل من ٢ ولكن الكوارتز (الرمل) له كثافة نوعية ٢,٦٦ ، الطفلـــة الغـــير عضوية لها كثافة ما بين ٢,٣ إلى ٢,٩ . الجدول يوضح كثافة بعض أنواع التربة .

جدول (٣-١) كثافة بعض أنواع التربة .

المادة	الكثافة
الجبس	٢,٣٢
الكاولين	٢,٦
الكوارتز	٢,٦٦
المستلك	٢,٧
الكالسيت	٢,٧٢
الدولوميت	٢,٨٧
الليمونيت	٣,٨
الهيماتيت المائى	٤,٣ +
الماجنيتايت	٥,١٧
الهيماتيت الجاف	٥,٢

اختـــبارات حجم الحبيبات يحدد بطريقة التدرج . نتائج هذه الاختبارات توضح الخصائص الطبيعية للتربة وتفيد فى (١) التعرف على تقسيم التربة والطرق المناسبة لتثبيـــت التربة لطبقة الأساس للطرق (٢) تصميم المرشحات وتدرج المرشحات (٣) معـــرفة ترسيبات التربة لنفس الأصل الجيولوجى . وهذه الاختبارات تكون إما تحليل المـــنخل الميكانـــيكى (Seive Analysis) الـــذى يناسب التربة ذات الحبيبات الخشنة ، اختبارات التربة الرطبة تجرى على التربة الناعمة أو لاختبار التربة الناعمة والخشنة. جدول رقم (٤-١)

جدول (٤-١) رقم المنخل

رقم المنخل	بوصة	مليمتر	رقم المنخل	قطر الحبيبات (بوصة – مليمتر)	
٣	٠,٢٥	٦,٣٥	٣٠	٠,٠٢٣٢	٠,٥٩
٤	٠,١٨٧٤	٤,٧٦	٤٠	٠,٠١٦٥	٠,٤٢
٦	٠,١٣٢٣	٣,٣٦	٥٠	٠,٠١١٧	٠,٢٩٧
٨	٠,٠٩٣٧	٢,٣٨	٦٠	٠,٠٠٩٨	٠,٢٥٠
١٠	٠,٠٧٨٧	٢,٣٨	٧٠	٠,٠٠٨٣	٠,٢١٠
١٦	٠,٠٤٦٩	١,١٩	١٠٠	٠,٠٠٥٩	٠,١٤٩
٢٠	٠,٠٣٣١	٠,٨٤	١٤٠	٠,٠٠٤١	٠,١٠٥
			٢٠٠	٠,٠٠٢٩	٠,٠٧٤

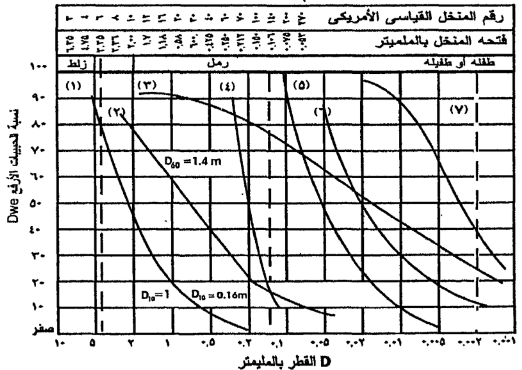
توزيـــع حجم الحبيبات يمكن توضيحه فى شكل منحنيات حيث لوغاريتم القطر يوضـــح مقابل النسبة الأنعم من D شكل (١-١) . القطر الذى يقابل ١٠% أنعم يعطى له الرمز D_{10} الذى يعرف بالقطر المؤثر للتربة . الأقطار اكبر من D_{o} تكون ٩٠% من

الــزلط (الركام) والأصغر من D_0 الاتزان . يستخدم القطر المؤثر لحساب التوصيل الهيدرولــيكى للــرمل القطر المؤثر للرمل النظيف (المحتوى على أقل من ٣% مواد ناعمــة) يعتبر حجم متجانس مثالى لمادة متكونة من حبيبات مستديرة المحققة لنفس الخصائص الهيدروليكية للتربة الطبيعية .

يســتخدم القطــر المؤثر D_0 لتعيين درجة التجانس للتربة . ويعبر عنها بمعامل التجانس

$$\text{معامل التجانس} = Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

حيث D_{60} هو حجم الحبيبات التى عندها نسبة ٦٠ أنعم ، (حجز ٤٠% بالوزن) D_0 هو حجم الحبيبات التى عندها نسبة ١٠% أنعم (حجز ٩٠% بالوزن). عندما يكون معــامل الــتجانس أكبر من ٤ إلى ٥ تعتبر التربة جيدة التجانس حيث تغطى أحجام مخــتلفة وأنــواع تربة مختلفة . في حالة منحنى التدرج غير مستمر ومتداخل بجزء مســتقيم توصف التربة بوجود فاصل في التدرج ، أى تفتقد إلى أقطار تربة متوسطة (مثال خليط من الرمل خشن وطينة) .



شــكل (١-٧) منحــنى توزيع حبيبات التربة (١) زلط رفيع (٢) حصى (٣) حصى وطين (٤)

رمال (٥) رماد جليدى (٦) طفله طينية (٧) طينه طفليه

قيمة D_{10} , D_{15} , D_{30} , D_{50} , D_{60} مفيدة عملياً عند تقسيم التربة وكذلك عند تصميم المرشحات .

- المحتوى الطبيعى من الرطوبة فى التربة هى النسبة ما بين وزن الماء فى العينة إلى الوزن الجاف للعينة . الوزن الجاف يقدر بعد التجفيف .
- يوصف قوام التربة ذات الحبيبات الناعمة عادة فى لوغاريتم الحفر كلينة جداً ، لينة، متماسكة (أو متوسطة) ، صلب ، صلب جداً ، صلب للغاية ، ويوصف القوام لطين الصلصال كما في الجدول (٥-١) .

جدول ٥-١ التعبير الكمى والنوعى لقوام الطمى

القوام	التعرف الميدانى	قوة الضغط طن / قدم مربع
لين جداً	يخترق عدة بوصات بضغط اليد	أقل من ٠,٢٥
لين	يخترق عدة بوصات بالإصبع	٠,٢٥ – ٠,٥
متوسط	يخترق عدة بوصات بالإصبع مع جهد متوسط	٠,١ – ٠,٥
متماسك	يخترق بصعوبة بالإصبع مع جهد كبير	١,٠ – ٢,٠
متماسك جداً	يخترق الإظفر	٢,٠ – ٤,٠
صلب	يخترق بصعوبة بإظفر اليد	أكبر من ٤

مكونات طمى الصلصال [Clay Minerals الطفلة] :

يتكون طمى الصلصال أساساً من سيليكات الألومنيوم مع المغنسيوم أو الحديد بدلا من الألومنيوم جزئيا أو كليا مع كميات مختلفة من المواد القلوية والأملاح المذابة. حبيبات الطمى الصلصال عبارة عن قشور متكونة من ذرات منظمة فى وحدات متكررة التى تكون إما صفائح من السيليكا أو الألومنيا . مكونات طمى الصلصال تتكون من صفائح من السيليكا والألومنيا كما فى حالة الكاولين (kaoline) أما الإيليتيز فيتكون من صفائح الألومنيا بين صفائح مرتبطة ببعضها بتفكك وتوجد أنواع أخرى . منها سمكتايت (smectite) مثل الكاولين والإيليتيز (illites) .

مواد الطمى لها خاصية إدمصاص بعض الأيونات (ذات الشحنة السالبة) والكاتيونات ذات الشحنة الموجبة . إزالة ملوحة المياه باستخدام الزيوليت مثال للتبادل

الأيونى عملية التبادل الأيونى تتم فى محلول مائى أو فى مجال غير مائى .

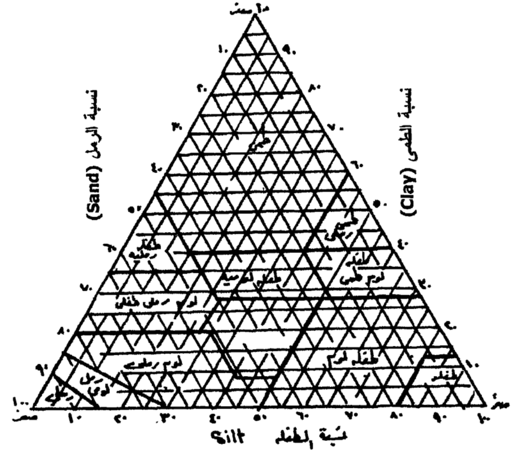
طمـــى الكاوليـــن يقاوم دخول المياه وبالتالى لا يزداد حجمه أو ينتفخ أو يتغير حجمه مع التشبع أو الجفاف . سميكتايتس smectites مادة غير مستقره حيث الصفائح مـــتجاورة ومفككـــة حيـــن تدخل المياه بين الصفائح . وهذا يسبب انتفاخ مادة طمى السميكتايتس فى الماء والانكماش بعد الجفاف ، ويرجع لذلك ظاهرة لدونة هذه المادة والبنتونايت هو طمى السيميكتيت .المستخدم فى حفـــر آبـــار وكمادة تحشيه (grouting) رغـــم أن نفاذيـــة الطمى ٥٠% أو أكثر ، فإنه غير نفاذ مقارنة بالرمال ذات النفاذية الأقل.

نظم تقسيم التربة Soil Classi Fication Systems:

يوجـــد العديـــد من نظم التقسيم للتربة ولكن لا يوجد نظام عالمى موحد للتقسيم ولذلك ينصح باستخدام أكثر من نظام تقسيم للحصول على المعلومات الأولية الكافية . يمكن تقسيم النظم الرئيسية للتقسيم كالآتى :

النظم الأساسية للتكوين (Textural System)

الحدود العليا والسفلى فى هذا النظام لكل من الزلط ، الرمل ، الطفلة ، الطمى ، مجموعـــة الأقطار يعبر عنها بنسبة مئوية للوزن الكلى للعينة . كما هو واضـــح فى الشكل (١/٢) نجد أن ركام التربة يسمى على أساس نسبة الرمـــل ، الطفلة ، الطمى (بدون الزلط) . حيث تسمى التربة رمل ، طفلة ، طمى ، تربة مكونة من رمل وطفل وطمـــى ومـــادة عضـــوية تســـمى (loam) . وتربة رملية طميية طفليه ، تربة طفليه طميـــيه،... الخ . ولعمل هذا التقسيم يستخدم منحنى للتدرج . يستخدم الشكل المثلثى لتحديد محورين فى الاتجاهات الموضحة (٢ -١) كما يوجد معدل قياسى للتكوين فى الجدول (١-١) .



شكل (٢–١) مخطط التقسيم الثلاثى

Loam (لوم) تربة من الرمل والطفله والطمى وبعض المواد العضوية

Sitt طفله

Clay طمى

Clay نظام التقسيم طبقا لطبقات التربة Pedologic Classifcation System

مجموعـــات المـــادة فـــى هـــذا النظـــام تقســـم على أســـاس التكوين ، الصـــــرف (Drainability) ، الحموضة أو القلوية . وهذا النظام مبنى على أساس أن مـــادة الـــتربة المتشـــابهة (الـــتربة الأصلية) عند التعرض لظروف مناخية وزمنية وطبوغرافـــية متشـــابهة فإنهـــا تكـــون شكل متشابه للتربة . فى المناطق حيث يمكن الصـــرف فإن التربة تتكون من ثلاث طبقات محددة وهى A , B , C وأحياناً الطبقة D إلى أسفل شكل (١/٣) .

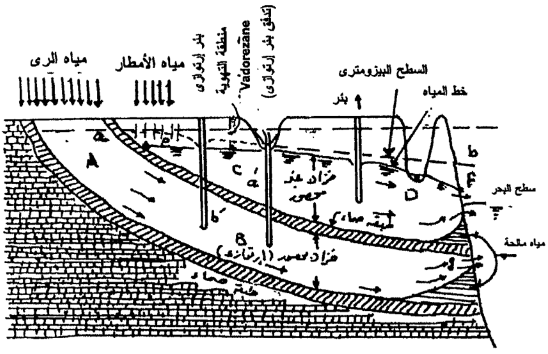
A الطبقة العليا هو طبقة الرشح (الصرف) .

B الطبقة التالية هى طبقة التراكم .

C هى الطبقة التى تأثرت بالعوامل الجوية وتكونت منها الطبقات B , A .

D قد تكون من صخور صلبة أو من طبقات تربة مختلفة أصلاً عما فوقها .

كثـــير مـــن المهندسين ذوى الخبرة وكذلك الفنيين يمكنهم تقسيم التربة بالنظر ويدويـــاً وذلـــك بفرك العينة بين الأصابع لمراجعة قوة الجفاف ، ورد فعل العينة عند هـــزها فى راحد اليد وبطرق أخرى جدول (١-١) تتم الاختبارات فقط فى حالة عدم إمكان الحصول على نتائج واضحة .



شكل (٣-١) وجود المياه الجوفية

٢- تكوينات التربة الحاملة للمياه ووجود المياه الجوفية :

تتأثر طريقة وجود المياه الجوفية بالتكوينات والخصائص الجيولوجية والخطوط والحـــدود للتربة والتكوينات الصخرية التى تتحرك خلالها المياه . وتتوقف كذلك على الأنشطة القائمة والظروف المناخية والبيئة . هذه التكوينات قد تكون محدودة بين حدود

طبيعية و / أو صناعية . إدارة المياه الجوفية تتطلب الأبحاث بدقة لخصائص التربة أو الصخور ، كل منها تمثل وحدة تكونت تحت ظروف جيولوجية متشابهة . فى حالة إمكان الحصول على كميات المياه الكافية بالطريقة الاقتصادية لحاجة الإنسان والحيوان فى هذه الحالة تسمى تكوينات التربة ، التربة الحاملة للمياه أو الخزان الجوفى (Water Bearing Formation or An Aquifer) سواء كانت التربة من الصخر أو من رمال التربة أو من كليهما . ولهذا فإن طبقة الطمى المشبعة بالماء لا تسمى بالخزان الجوفى رغم أنها تحتوى على كميات من المياه أكثر من طبقة رملية بنفس السمك .

نوعية المياه عامل هام في استخدام المياه الجوفية . المياه في الطبيعة ليست نقية، حيث تحتوى المياه على مواد عالقة وأملاح مذابة تجعلها غير مناسبة للاستخدام الآدمى أو للزراعة أو فى الصناعة . تتأثر نوعية المياه فى الطبيعة بعدة عوامل (١) البيئة الطبيعة مثل كمية الصخور والتربة والمواد المذابة في المياه الجوفية (٢) التأثير بفعل الإنسان مثل حقن مياه الصرف فى الخزان الجوفى . نتيجة لنشاط الإنسان الماضى والحاضر لا يمكن أن تتأثر نوعية المياه بعامل واحد .

التكوينات الحاملة للمياه : (Water Bearing Formations)

عند دراسة المياه الجوفية ، فإن تكوينات الصخور فى التربة الحاملة أهم من شكلها العام . حيث وجود الفوالق والشقوق خلال التكوينات يزيد من نفاذية هذه الصخور . الانقسامات المفتوحة أو المغلقة في الصخور في شكل وصلات أو كسور تعتبر ظواهر هامة فى هيدرولوجية المياه الجوفية . الوصلات أو الشقوق التى يبدو من منظرها أنها تعمل على كسر الصخر إلى مكعبات أو كتل منتظمة ، بينما قد يستمر الكسر في أى اتجاه. ورغم أن الصخور مانعة لنفاذ المياه إلا أن هذه الشقوق والجيوب .. الخ تعطى التكوينات الصخرية طاقة عالية فى احتواء المياه .

الأنواع الرئيسية للتكوينات الحاملة للمياه :

- الخزان الجوفى Aquifer

الشـــكل (٣-١) يوضـــح مقطـــع لتكويـــنات تربة غير صماء AB (Pervious) محصورة بين طبقتين غير سميكتين نسبياً من تربة مدمجة صماء (Impervious) (كتلة صـــخرية) تســـمى طـــبقات محصـــورة (Confining Beds) التى تعمل كحاجز يمنع الاخـــتراق الســـهل للمـــياه خلالها . الطبقة العليا الصماء من هذا الشكل تعلوها طبقة متجانســـة من التربة والتى تمتد إلى أعلا حتى سطح الأرض . كل الطبقات معرضة عـــند نهايـــتها الحرة إلى البحر. الشكل (٣-١) يوضح خزانين جوفيين AB و CD . درجة إنتاجية المياه من الخزان الجوفى تتوقف على درجة إعادة الشحن الطبيعى للمياه (Recharge) ، الخـــواص الطبيعية والكيميائية للخزان الجوفى والحدود الهيدرولوجية ، الـــزراعات ، الأنشـــطة السكانية .سهولة اختراق الماء خلال تكوينات التربة تعرف نفاذيـــة الـــتربة (Soil Permeability) . ولذلك فإن كل الخزانات الجوفية يجب أن يكون لديها درجة عالية نسبياً من النفاذية .

الخـــزانات الجوفية ذات التربة الحاملة الزلطية هى الأكثر إنتاجية . الخزانات الرملـــية المتجانســـة (ذات معامـــل تجانس أقل من ٦ أى نسبة ٦٠% المار فى فتحة المنخل رقم ٣٠ (٠,٥٩ جم) إلى نسبة المار فى فتحة المنخل رقم ٦ (٣,٣٦ مم)(جدول ٤) ($\frac{٣٠}{٦٠}$ = ٥) تكون أقل إنتاجية . الخزانات الجوفية المتكونة من الزلط والرمل والـــرمل الرفيع أو من خليط من الرواسب الطفيلية الرغوية (Alluvial) المحتوية على الطفلة بنسبة صغيرة ونواتج عوامل التعرية والظروف المناخية والجوية على الصخور تعتبر هذه من بين الخزانات الجوفية الأقل إنتاجية . عمق الخزان الجوفى كذلك يعتبر عامل هام فى درجة إنتاجيته . يتضح أن الرواسب من الرمال الرفيعة المشبعة العميقة كمثال تنتج مياه أكبر لبئر أكثر من طبقة رقيقة من الزلط الخشن . الخزانات الجوفية من الرمل والزلط بها كميات صغيرة أو ليس بها أجسام رفيعة تكون منتجة جداً .

يحـــدث هـــذا عادة في التربة من الطمى أو الغرين (Alluvium) القريبة من أو أسفل مجارى الأنهار . ويحدث كذلك فى الوديان المدفونة ، أجناب الأنهار المعرضة للفيضـــان ، الوديان والمسطحات بين الجبال . يمكن سحب كمياه وفيرة من المياه من

الحجر الجيرى (Lime Stone) نتيجة وجود قنوات ، كهوف ، شقوق . البئر المحفور في خزان جوفى من الحجر الجيرى بناء على ذلك سوف يتقاطع مع واحد أو أكثر من هـذه الفـتحات . وبالمثل فى صخور الحمم البركانية (Lava Rocks) تؤخذ المياه من المياه المخزنة في الفراغات والوصلات المفتوحات والتشققات نتيجة الانكماش ، درجة الإنتاجـية والنفاذية لخزان جوفى صخرى تتوقف على درجة التماسك لمادة الصخر ، شـكل وحجـم الشـقوق والكسور وقنوات المواد المنصهرة والفتحات الأخرى وحجم الصخر المفتت ، الخزانات الجوفية الصخرية ذات الإنتاجية القليلة هى ذات الصخور الجرانيتـية والكوارتز ، المحارة ، صخر الإردواز (Slate) ، أو الشيست (Schist) وهو صخر متبلر ينفلق بسهولة إلى طبقات . مثال للخزانات الجوفية الصخرية المنتجة هـو خـزان الحجر الرملى النوبى في السودان ومصر والسعودية في مناطق الفوالق الصخور البللورية .

السرعة الطبيعية للمياه الجوفية قليلة جداً . فقد تصل إلى ١,٥ متر فى العام وقد تـرتفع إلـى ٢ متر فى اليوم . (قد تم تسجيل سرعات عالية وصلت إلى ٣٠ متر فى الـيوم). السـرعات العالية للمياه الجوفية تكون في مكان قريب من بئر الضخ أو قناة مفتوحة .

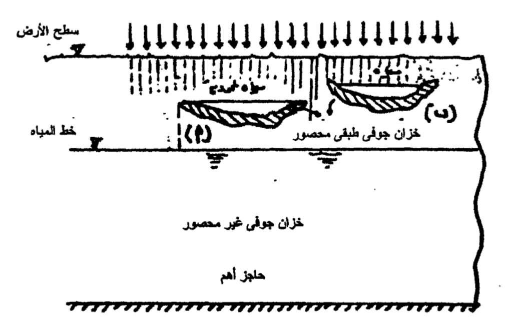
العوامل الجوية للصخور الرسوبية لها تأثير على التغير المستمر للحالة الطبيعية وتتأثر العوامل الجوية بمقاومة مادة الالتصاق . أكثر مواد الالتصاق تحملاً هى مواد السيليكا وأقلها هى الطمى . المياه الجوفية ظلت وستظل من خلال تحركها تحدث تغير بطـئ فـى خصـائص هـذه التكويـنات ومواد التصاقها . المادة الناتجة عن عملية (Kartisification) هى نتيجة عمليات طبيعية داخل وخارج القشرة الأرضية بسبب تحلل وصـرف مـواد الـتحلل (Leaching) للحجر الجيرى والدولوميت والصخور الأخرى القابلـة للذوبـان . عـادة فى هيدرولوجية المياه الجوفية تحدث حالة مشابهة لكل من الحجـر الجـيرى (كـربونات الكالسـيوم) والدولوميت (كربونات المغنسيوم) . الدولوميـت له نفاذيـة أعلى من الحجر الجيرى . ولذلك فعند التحول الجزئى للحجر

الجـيرى إلـى الدولوميت خلال عملية تسرب المياه الجوفية حاملة المغنسيوم ، تزداد النفاذية للتربة الجيرية وبالتالى يزداد إنتاج مياه البئر فى حالة إنشائه فى هذا الموقع .

Aquicludes And Aquitards

خزان جوفى (Aquicludes) هى عمليات تكوينات جيولوجية صماء التى تحتجز تمامـاً تربة أخرى وتسمح بالتسرب القليل للمياه خلال جدرانها . يمكن أن يكون هذا الخزان مشبع تماماً بالماء فى حالة ركود كاملة (Stagnation) .

أمـا الخـزان الجوفى المسمى (Aquitard) فهو أكثر نفاذية من الـ Aquiclude يمكن اعتباره طبقات شبه محصورة (Semiconfining) حيث تتسرب المياه من خلالها بمعـدل بطئ جداً . كمية تسرب المياه من هذا الخزان يمكن أن تكون كبيرة جداً فى حالـة امتدادها لمساحات كبيرة . خزان جوفى Aquitard له أشكال مختلفة . قد يتكون مـن طـبقات رقيقة من الطين مدفونة فى تربة رملية . فى بعض الحالات يوجد هذا النوع فى شكل طبقى (Saucer Shaped Aquiludes) شكل (٤-١) . عند تسرب المياه إلـى أسـفل مـن هطول الأمطار أو أى مصادر سطحية أخرى ، فإنها تصطدم بهذا الخزان الطبقى ، الشكل الهندسى لهذا الخزان يسمح بتكون خزانات مياه طبيعية . وهذا النوع من المياه يسمى المياه المعلقة (Perched Water) . فى بعض الأحيان يفيض هذا الخـزان تحت الأرض من على الأجناب حتى الوصول إلى خط المياه الرئيسى . فى المناطق الصحراوية تستخدم المياه العمودية لإمدادات مياه محدودة . فمثلاً كانت المياه العمودية المصدر الرئيسى للمياه لقوات الحلفاء أثناء الحرب العالمية الثانية على امتداد المساحة الساحلية للبحر الأبيض المتوسط فى صحراء مصر الغربية . يمكن أن تكون المياه العمودية مستديمة أو متغيرة طبقاً لكمية الشحن بالمياه .



شكل (٤-١) المياه العمودية Perched water فى

خزان طبقى فوق خط المياه

(أ) حجم المياه أكبر من سعت الخزان الطبقى

(ب) حجم المياه أقل من سعت الخزان الطبقى

الخزانات الجوفية المحصورة والغير محصورة

(Confined And Unconfined Aquifers)

يوجد نوعين رئيسيين من الخزانات الجوفية على أساس طبيعة تدفق المياه الجوفية. محصور (Confined) ومعروف كذلك بالإرتوازى (Artizian) والنوع الآخر الغير محصور (unconfined ومعروف بخط المياه أو العادى (watertable) شكل (٣-١) الخزان الجوفى A B محصور بين طبقتين صماء (tmpervions) وتميل بالتدرج إلى أسفل من مأخذها عند سطح الأرض إلى حدها النهائى على طول شاطئ البحر . الطبقات الصماء لا تسمح للمياه بالاختراق خلالها هذا هو المثالى ولكن فى الواقع فإن الماء يتدفق عبر هذه الطبقات بكميات مختلفة طبقا لدرجة التفاديه وفروق الجهد فى الماء فوق وأسفل الحدود الصماء .

مستوى المياه الجوفية عند المأخذ يكون معرض للجو ولذلك يعرف بخيط المياه

الجوفية (Groundwatertable) . ولكن نتيجة التسرب المستمر للأمطار والشحن الطبيعي والصناعي وكذلك الضخ ، فإن المياه تتحرك خلال الخزان الجوفي ، حيث يفقد الطاقة بالاحتكاك خلال المسام مع تحركه . خط الضغط a b الذي يمثل توزيع ضغط المياه على طول الخزان الجوفي ، عبارة عن الإسقاط الرأسي لسطح يسمى السطح البيزومتري الفقد في الضغط (Headloss) بالاحتكاك عند هجرة المياه من نقطة المأخذ a إلى النقطة g قرب النهاية.وتمثل بالفرق في الارتفاع للنقط a و b في حالة حفر بئر ملاحظة (ماسورة بنهاية مفتوحة) إلى أسفل هذا الخزان الجوفي المحصور عند أي موقع فإن المياه سترتفع إلى السطح البيزومتري عند هذا الموقع ، يجب التأكد أن السطح a b ليس خط مياه جوفية بل هو مخطط للضغط . السطح العلوي للتشبع بالمياه في الخزان الجوفي A B يطابق مع السطح السفلي للطبقة الصماء العليا .

تدفق المياه الجوفية خلال الخزان الجوفي AB يشبه إلى درجة ما تدفق الماء خلال ماسورة . عند إنشاء بئر ملاحظة أو بئر إنتاج عند النقطة 'a الشكل (٣-١) . ستتدفق المياه من البئر طبيعياً بدون ضخ لأن منسوب السطح البيزومتري الأصلي عند ذلك الموقع بالتحديد يكون فوق سطح الأرض : هذا البئر يسمى ويعرف بالبئر الإرتوازي المتدفق . (Flowing Artisian well) . أما في حالة حفر بئر عند النقطة 'b فإن منسوب السطح البيزومتري عند هذا المكان يكون منخفض عن منسوب سطح الأرض لذلك فإن الماء سوف يندفع في البئر إلى منسوب. أعلا من أعلا منسوب للتشبع في الخزان الجوفي المحصور وبالتالي منخفض عن منسوب سطح الأرض . في حالة الرغبة في سحب المياه من هذا البئر فإنه يلزم استخدام الطلمبة. يسمى هذا البئر بالبئر الارتوازي (Artisian Well) . في الواقع فإن كلاً من البئرين عند 'a ، 'b من النوع الإرتوازي ، وفي بعض الأحيان توصف حالة 'a بالإرتوازي والحالة 'b تحت الإرتوازي (Subartisian) . ورغم أن أي من هاتين الحالتين يتوقف على منسوب سطح الأرض فإن شكل التدفق يكون مستقل تماماً عن طبوغرافية السطح ، في الحالات الإرتوازية يكون ضغط المياه خلال مسام الخزان الجوفي دائماً أكبر من الضغط

الجوى عدا فى حالة استنزاف الماء إلى منسوب أسفل الحدود العليا للخزان الجوفى .

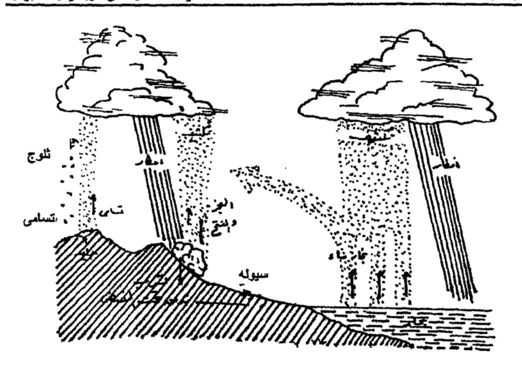
نظـــراً لأن الطبقة الصماء العليا للخزان الجوفى AB يعلوها الخزان الجوفى CD شـــكل (٣-١) فـــإن الشحن بالمياه أو أى مصادر مائية أخرى يوجد مجال مشبع في الخزان الجوفي الذي يوفر مجال تشبع في الخزان الجوفي والذي يكون له منحنى خط المـــياه والمعروف بخط المياه أو السطح الحر (Ground –Table curve – Free surface water (ef)) . يكـــون خـــط ســـطح المياه في حقيقته هو مكان كل النقط في الخزان الجوفي التي يكون عندها الضغط يساوي الضغط الجوي . خط المياه (Water table) لـــيس هو الحد الأغلى لمنطقة التشبع نظر"ا لأنه يوجد منطقة التهوية (Vadose zone) فـــوق خط المياه ، والتي تحتوي في قاعها وفوق خط المياه منطقة الخاصية الشعرية (Capillary fringe) وفي أعلاها منطقة مياه التربة شكل (٥-١) . درجة التشبع تختلف من صفر أعلى منطقة الخاصية الشعرية إلى ١٠٠% عند القاع ملاصقا لخط المياه . ضـــغط المـــياه فوق خط المياه يكون دائما أقل من الضغط الجوي .في حالة حفر بئر خلال كل العمق لمنطقة التشبع للخزان الجوفي CD إلى منسوب أعلى قليلا من الطبقة العلـــيا الصماء للخزان الجوفي AB فإن الماء سيرتفع إلى منسوب قريبا من منسوب خـــط المـــياه. مـــثل هـــذا الخزان الجوفي يسمى الخزان الجوفي الغير المحصور (Unconfined) أو الخـــزان الجوفي العادي أو خزان جوفي خط المياه .عند تقاطع خط المـــياه مـــع منخفض فإن المياه تتسرب إلى أجناب المنخفض مكونة بركة أو بحيرة . وهذه البركة نتيجة تسرب المياه تسمى عين (Spring) ولكن بتدفقات منخفضة جدا .

فـــي الشـــكل (٣-١)الـــنهايات اليمنى لكل الخزانات الجوفية والتكوينات تكون ملتصـــقة بالمياه المالحة . في هذه الحالة فإن مياه البحر تغزو كلا الخزانين A B وC D شـــكل (٣-١) مكونه جسم مستقل من المياه المالحة . الفاصل بين جسم المياه المالحة والمـــياه العزبة يعرف بتقابل المالحة مع العزبة ، درجة وشكل هذا التقابل يعتمد على عوامـــل كثيرة . فى الخزان الجوفى الغير محصور تكون المياه العزبة فوق أو أسفل مســـتوى ســـطح الـــبحر . سطح الخروج يعرف بوجه التصرف (Discharge face) ،

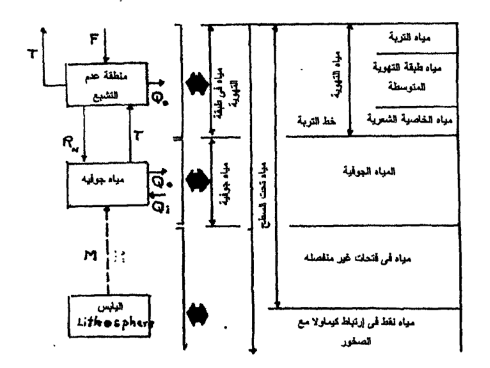
والجـــزء فوق منسوب سطح البحر عادة أصغر من الذي أسفله . أما في حالة الخزان الجوفي المحصور (الارتوازى) فإن وجه الصرف للمياه العذبة إلى البحر يوجد بكامله أســفل منســوب سطح البحر . مناطق الخزانات التى تتأثر بدخول مياه البحر تعرف بالخـــزانات الجوفية الساحلية (Coastal Aquifers) . الخزانات التي لا تتأثر بدخول مياه البحر تسمى الخزانات الجوفية العذبة.

وجود المياه الجوفية (Ground Water occrance)

أصـــل المـــياه الجوفـــية والدورة الهيدرولوجية (Ground Water Origin And Hydrologic Cycle) . الدورة الهيدرولوجية شكل (٥-١) تمثل حالات سقوط المياه من الجو إلى الأرض أو إلى المحيط المائى أو غلاف الأرض المائي (Hydrosphere) مثل الأنهـــار والـــبحار والبحيرات على سطح الأرض ثم تعود ثانيا إلى الجو .تبخر المياه المباشـــر مـــن المحـــيطات والبحار والبحيرات والأنهار والقنوات المائية ، والأرض الرطبة ، الثلوج والجليد وعملية تبخر نتح النبات يحول المياه إلى بخار يحمل بواسطة الهـــواء عند الارتفاعات العالية يتحول البخار إلى سحب والتي خلال التكثيف ترسب إلى الأرض كمياه أو ثلوج . نتيجة لفعل الرياح فإن الترسيب ليس بالضرورة سقوطه على الأماكن التي حدث بها البخر . جزء من المياه المكثفة يتدفق على سطح الأرض فـــي صورة سيول وهذا يغذي المجاري المائية والبحيرات ..الخ أو يتدفق نحو البحر قـــبل أن يتـــبخر ثم الاتصال بالدورة الهيدرولوجيه ثانيا . جزء آخر يستهلك بواسطة النباتات والباقي يتسرب إلى الأرض . وهذه المياه المتسربة قد تصل وقد لا تصل إلى خط المياه الجوفية . وكذلك فإن بعض هذه المياه التي ترسب تتبخر قبل أن تصل إلى سطح الأرض .



شكل (٥-١) لتخطيط لتمثيل الدوره الهيدرولوجيه



شكل (٦-١) أوضاع المياه الجوفية والشكل الجانبى العام للمياه

خفــض منسوب المياه الجوفية في الخزانات الجوفية الغير المحصورة وخفض ضغط المياه في الخزانات الجوفية المحصورة يكون نتيجة صرف المياه خارج الخزان الجوفي لعدة أسباب ، مثل السحب من الخزان الجوفي كما في حالة ضخ المياه من بئر ، الصــــرف الخارجـــي الطبيعي من الآبار ،العيون ، التسرب ،البخر ، بخر مياه نتح النــبات ، الــتدفق الطبيعي إلى خزان جوفي مجاور .أثناء عملية البخر مياه البخر قد تملأ تماما المسام وتتحرك من منطقة ذات طاقة عالية إلى أخرى ذات طاقة منخفضة . فـــى المناطق الجافة الخزانات عادة تقبل أي مياه ، البخر يسبب مشكلة نقص المياه . المناطق الجافة فيها نباتات تستهلك كميات كبيرة من المياه (مثل الحشائش المالحة) .

تقديــر معـــدلات السحب من والشحن إلى خزان جوفي معين له حدود معلومة يعتــبر أســـاس لتقدير اقتصاديات الاستغلال للمياه . أقصى الحالات تكون عند سحب أقصى كمية من المياه بدون حدوث أي تأثير جانبي ضار مثل انخفاض منسوب المياه الجوفـــية مما يتطلب تغيير طاقة طلمبة الرفع وعمقها أو زيادة عمق البئر ، انخفاض التربة يسبب زيادة الضخ أو تسرب المياه المالحة . في حالة تساوي معدل السحب مع معـــدل الشـــحن أو عـــدم زيادة معدل السحب عن معدل الشحن السنوي يمكن تحقيق ظـــروف آمـــنة . الخزانات الجوفية ليست فقط مجال لنقل المياه ولكن كذلك خزانات للمـــياه . مشكلة الإنتاج الآمن(SAFE FIELD) للخزان الجوفي هي أهم المراحل المعقدة لإدارة مصادر المياه الجوفية .

أشكال وجود المياه الجوفية (Modes Of Ground Water Occurance)

توجـــد أشكال مختلفة لوجود المياه في التربة شكل (٥-١) .الرطوبة الممتصة (Hygroscopic Moisture) وهـــي الرطوبة التي امتصت بواسطة التربة الجافة من الجو قريـــبا مـــن سطح الأرض . عند تسرب المياه خلال التربة فإنها تكون مناطق رطبة مـــنعزلة نتـــيجة الإنجذاب لجزئيات المياه لحبيبات التربة . هذه المياه لا يمكن سحبها بواســـطة قوة الجذب ، وهي تشغل الجزء العلوي من منطقة التهوية . شكل (٦-١) . فوق خط المياه مباشرة توجد المياه التي ارتفعت بفعل الخاصية الشعرية (Capillarity)

عمومـــا حركة المياه في منطقة التهوية يرجع إلى الخاصية الشعرية والبخر . حركة المـــياه إلى أسفل تكون بسبب التسرب لمياه الأمطار والمياه السطحية . منطقة التهوية شكل (٦-١) هي منطقة عدم التشبع فوق خط المياه ، قد تختفي في المساحات الرطبة حيث خط المياه قريبا من سطح الأرض وقد تكون عميقة جدا في المناطق الجافة .

أســـفل خط المياه توجد منطقة التشبع الكامل . خط المياه هو السطح الذي على امتداده يكون ضغط مسام المياه هو الضغط الجوي . الطبقة المشبعة هي من اهتمامات مهـــندس المياه ، بينما طبقة التشبع الجزئي (التي تعلو خط المياه) هي من اهتمامات مهندس الزراعة ومهندس الطرق . عموما يمكن تقسيم المياه كالآتي :

مياه جوية (Metioric Water) :

هـــذه المياه هي التي دخلت قريبا في الدورة الهيدرولوجية ، وهي تشابه المياه الســـطحية ، وتكون عادة في الخزانات الجوفية الضحلة نسبيا المستخدمة لسحب المياه أو لشحن المياه .

- **مياه بحرية (Marine Water) :**

وهي المياه التي دخلت إلى الخزانات الجوفية الساحلية وهي تشابه مياه البحر .

- **المياه الأحفورية القديمة (Connate Water) :**

وهي تتكون من المياه التي هاجرت من حيث دفنت أولا مع الترسيبات . وهي مـــياه عالية المحتوى من المعادن (مياه معدنية) وتكون إما من أصل بحري أو مياه حلـــوة . وهـــي تسمى كذلك (Fossil Water) . في بعض الأحيان قد لا تكون معزولة تمامـــا مـــن الدورة الهيدرولوجية وخاصة في حالة إعدادها للاستخدام . عينات المياه الأحفوريـــة المأخوذة من الآبار العميقة في الصحراء الغربية لمصر (خزان جوفي في الحجـــر الرملـــي النوبي) يبدو أنها ٢٠٠٠٠ إلى ٣٠٠٠٠ سنة وأكثر .التنمية الحديثة (حوالـــي عـــام ١٩٦٠) للمياه الأحفورية فيمصر أبرزت عدة مشاكل يرجع معظمها لنقص التغذية في الصحراء والمناطق القاحلة.

- **مياه الصخور البركانية (Magmatic Water) :**

مثل المياه المعدنية من العيون الحرارية والتي تنبع من الصخور البركانية . في حالة انخفاض منسوب هذه الصخور البركانية (٣-٥ كيلو متر) تعرف المياه بالمياه البركانية (Volcanic Water) أما العيون العميقة الحرارية تنتج مياه عند درجة حرارة عالية جدا تعرف بالعيون البركانية . وفي حالة الصخور البركانية على عمق كاف تعرف المياه بالمياه الجوفية (Plutonic Water) .

- **المياه التحويلية (Metamorphic Water) :**

ترتبط المياه التحويلية بالصخور عند تحولها .

- **المياه الحديثة (Juvenile Water) :**

وهي مياه حديثة من أصل مغناطيسي أو كوني التي لم تكن جزء من الدورة الهيدرولوجية .

المياه التحويلية والحديثة ليست من اهتمام المهندسين وإن كانت المياه الحديثة يتبع الاهتمام بها لعلاقتها بالعيون (Springs)، المياه الجوية والبحرية من اهتمام المهندسين . المياه الأحفورية القديمة والمياه الحديثة ليست جزء من الدورة الهيدرولوجية وإن كانت هذه المياه قد تجد طريقها إلى سطح الأرض والاتصال بالدورة الهيدرولوجية .

توجد أنواع مختلفة من العيون فقد تكون العيون ضحلة كالتي تكون نتيجة حركة المياه الجوفية قريباً من سطح الأرض ، أو تكون عميقة مثل العيون البركانية وقد تكون عميقة خلال الصخور المتفتتة أو العيون الساحلية والتي تتدفق في قنوات تحت سطح الأرض . الزلازل يمكن أن تحدث تغييرات في تصرف العيون وقد تزيد من إنتاجية بعضها وتنميها.

٣- نوعية المياه الجوفية GROUnd WaterQuality :

المياه النقية (H_2O) ليس لها وجود عموماً فى الطبيعة ، حتى أن مياه الأمطار ليست نقية . المياه من المصادر السطحية أو الجوفية تحتوى على مواد صلبة مذابة

وغـــازات مذابة وكذلك مواد عالقة . كمية ونوعية هذه المكونات تتوقف على عوامل جيولوجـــية وبيئـــية وهى دائما تتغير نتيجة تفاعل الماء مع المجال الملاحق لأنشطة الإنســـان . المـــياه الطبيعـــية تعـــنى حالة المياه فى توقيت استعمالها أو أخذ عينات للدراســـات والتحالـــيل . يلـــزم عمـــل الاختـــبارات الكيميائية والطبيعية والبيولوجية والإشـــعاعية قبل استعمال المياه فى الأغراض المنزلية أو الزراعية أو الصناعية . ثم يـــتم مقارنـــة هذه الاختبارات مع المواصفات المقبولة لاستخدام المياه . درجة حرارة المياه تعتبر عامل هام بالنسبة لنوعية المياه الجوفية حيث أن المياه الجوفية تفضل فى إمـــداد المياه . وفى استخدام المياه فى الصناعة بسبب ثبات درجة حرارتها على مدار العام .

دراسة العوامل المؤثرة على نوعية المياه الجوفية تمكن من التعرف على نوعية هذه المياه مستقبلا مقارنة بنوعيتها الحالية . التغير فى نوعية المياه الجوفية يرجع إلى التغـــير فى نوعية المياه المتسربه والتفاعل مع المجال الملاحق وطول مسار التدفق، وفترة وجود المياه فى المكان ، نوع النباتات ، النشاطات بفعل الإنسان .

تأثيرات الرسوبيات Precipitation Effects

تـــتأثر نوعية المياه الجوفية بالمراحل المختلفة للدورة الهيدرولوجية . الرسوب الجـــوي كالمطـــر والـــثلج يتكون من الماء الذي فقد نقاءه أثناء رحلته في الجو وقبل وصوله إلى الأرض . الملوثات والكيماويات في الجو تكون نتيجة الغازات والأتربة فـــي الجـــو بالإضـــافة إلى المواد الصلبة التي تحملها الرياح ، كذلك الهواء المحمل بالأملاح الناتج فوق سطح البحر في المناطق الساحلية ، الغازات الناتجة من المصانع. عـــند وصـــول مياه الأمطار إلى الأرض تكون الملوثات بها قد ذابت ثم تختلط بالمياه السطحية . مياه الأمطار عندئذ تتفاعل كيميائياً مع المواد المعدنية في التربة والصخور وذلـــك طـــبقا لتكويـــن هـــذه الـــتربة والرقم الهيدروجيني للماء . عندما يكون الرقم الهيدروجينـــي أكبر من ٨,٥ تكون المياه التصقت بأملاح الكربونات وعندما ينخفض الـــرقم الهيدروجينـــي تكـــون المياه التصقت بأحماض معدنية من المصادر الكبريتية

(Sulfide) أو تكون محتوية على أحماض عضوية .

تركيز الكيماويات في المياه المرسبة يختلف موسميا ومكانيا . يصل تركيز النشادر والنترات إلى ٢ ملليجرام / لتر وتركيز أيون الكلوريد والبوتاسيوم إلى حوالي ٨ ، ٠,٤ ملليجرام /لتر في المناطق الساحلية . بينما يصل تركيز الصوديوم إلى ٤ ملليجرام | لتر في المناطق الساحلية وينخفض إلى ٠,١ إلى ٠,٣ ملليجرام بعيدا عن الساحل .

ثانى أكسيد الكربون المذاب من الجو ينتج حامض الكربونيك مما يسبب خفض الرقم الهيدروجيني لمياه الأمطار إلى أقل من ٧ وقد تصل إلى ٤,٥ وعندئذ تسمى الأمطار الحامضية والتي قد تحتوي كذلك على أيون الكبريتات .

تأثير التربة والصخور :

عند وصول مياه الأمطار إلى الأرض فإنها تكتسح (Leaches) غطاء التربة ومواد أخرى نتيجة تحلل النبات والحيوان . خلال منطقة الجذور للنباتات يتغير التركيب الكيميائي للماء نتيجة التبادل الأيوني بين مكونات الماء والتربة وكذلك يسبب حصول النبات على الغذاء . المياه المرشحة تكون غنية بالنترات والفوسفات والبوتاسيوم التي يرجع وجودها إلى المخصبات الكيميائية .

النباتات والكائنات الحية الدقيقة الأخرى تنتج ثاني أكسيد الكربون وأحماض عضوية مما يسبب خفض الرقم الهيدروجيني . المياه المرسبة (Leachate) من مياه الري بها تركيزات أملاح أعلى من المياه السطحية .

في المناطق الصحراوية حيث الصرف ضعيف تكون نسبة البخر أعلى من نسبة التسرب مما يعمل على تراكم الأملاح قرب سطح الأرض مما يزيد من تركيز الأملاح على الناتج عن النباتات والأسمدة .

نظرا لزيادة الحموضة للمياه السطحية (مثل مياه الري) ومياه قبل وبعد التسرب إلى التربة وهذا يعجل من تفتت التربة والصخور (Weathering).طبقا لدرجة الإذابة للتربة والصخور فإن الأملاح الكلية المذابة(TDS) للمياه المتسربة تتغير. درجة

الإذابـــة تـــتأثر كذلك بدرجة الحرارة والضغط . تزداد سرعة المياه الجوفية مع زيادة العمق وتزداد الإذابة لأملاح التربة مع زيادة السرعة . الخزانات الجوفية العميقة تكون عادة راكدة (Stagnant) لهذا تزداد ملوحة المياه مع العمق . المياه المحتوية على أيون الكـــربونات تكون قريبة من سطح الخزان الجوفي والمحتوية على الكلوريد تكون في قاع الخزان الجوفي .

تقسم المياه الجوفية طبقا لدرجة ملوحتها (وكذلك المياه السطحية) حيث المياه العذبة تحتوي على تركيزات أملاح أقل من ١٠٠٠ ملليجرام \ لتر .المياه المالحة نسبيا تحتوي على تركيزات أملاح من ألف إلى عشرة آلاف ملليجرام / لتر .

المياه المالحة تحتوي على عشرة آلاف إلى مائة ألف ملليجرام / لتر .

الخـــزانات الجوفـــية من الصخور النارية والبللورية تنتج عادة مياه ذات نوعية ممـــتازة بمحـــتوى مـــن الأمـــلاح أقل من ١٠٠ ملليجرام / لتر ولا يزيد عن ٥٠٠ مللـــيجرام/ لـــتر . كمـــا أن نوعـــية المياه الجيدة تكون في خزانات الكثبان الرملية والخـــزانات الجوفـــية الساحلية (الطبقة العليا) كذلك توجد المياه الجيدة في خزانات جوفية الصخور البركانية والرسوبية إلى حد ما .المياه في الخزانات الجوفية من الرمل الحجـــري (Sand Stone) قـــد يكـــون غني بأيونات الصوديوم والبيكربونات ، وفي الخـــزانات من المحار قد تكون المياه ذات حموضة إلى حد ما وعالية بالنسبة للحديد والكبريتات والفلوريد . أما في حالة التربة من الحجر الجيري فتكون قلوية إلى حد ما وتحتوي على أيون الكالسيوم والماغنسيوم .

عسر المياه الجوفية (Hardness Of Ground Water) :

عـــند تســـرب مياه الأمطار الحامضية في تربة أرضية من الحجر الجيري أو الدولوميـــت ، فإنها تذيب كربونات الكالسيوم والماغنسيوم منتجة مياه جوفية عسر . تنتج المياه الجوفية العسر عادة من الخزانات الجوفية من الحجر الجيري ، الدولوميت ، الجبس المغطى بطبقة كثيفة من التربة . استمرار الإذابة بفعل المياه الحامضية في الخزانات الجوفية يزيد العسر حتى تمام استهلاك محتوى المياه الجوفية من ثاني أكسيد

الكــربون . المــياه اليسر (Soft Water) قريبة من أماكن الشحن عن أماكن السحب. عمومــا المياه الجوفية نتيجة تسرب مياه المجاري السطحية تكون خالية من المذاق ، الــرائحة ، العكــاره ، الكائنات الممرضة والمواد العضوية إلا في حالة وجود أحمال عضوية عالية في المجرى المائي .

الغازات المذابة Dissolved Gases

معظــم المــياه الجوفــية تحــتوي علــى غــازات مذابة الموجودة في الدورة الهيدرولوجــية. تكــون هذه الغازات إما من الجو مثل النيتروجين والأكسجين وثاني أكســيد الكربون أو نتيجة تحليل المواد العضوية التى تنتج كبريتيد الهيدروجين وغاز الميــثان . المياه المحتوية على أقل من ١ ملليجرام فى اللتركبريتيد الهيدروجين يكون لها رائحة البيض الفاسد والمحتوى على ١-٢ ملليجرام/ لتر من غاز الميثان يمكن أن يســبب انفجــار في حالة عدم التهوية الجيدة للمكان كما أنه يسبب الاختناق في الآبار المحفورة (Dug Wells) وحفر الطلمبات كما يسبب غاز الميثان اشتعال الحرائق .

الغــازات المذابة فى المياه الجوفية تنطلق من المياه عند ارتفاع درجة الحرارة وخفض الضغط . فى معظم المياه الجوفية تركيز الغازات المذابد يتراواح ما بين ١ – ١٠٠ جزء فى المليون . الغازات تسبب تلف للطلمبات وقيسونات الآبار بسبب التآكل

أسباب وأثر التغير فى نوعية المياه الجوفية :

الــتداخل بين المياه الجوفية ومجالها الطبيعى يوجد حالة اتزان كيميائى والذى يــؤدى إلى ثبات نوعية المياه الجوفية . هذه العوامل مثل التفاعلات الكيميائية ، رحلة المــياه بكمــيات مخــتلفة مــن مصادر مختلفة وسحب المياه وشحن المياه من وإلى الخزانات الجوفية بمياه نقية أو ملوثة يؤدى إلى التغير الكيميائى للمياه وتغير خصائص أخرى .

التغــير القــاعدى (الكاتــأيونى) يشــمل كاتأيونــات الصوديوم ، الكالسيوم والماغنســيوم. فعند تسرب المياه المحتوية على نسبة عالية من الصوديوم إلى التربة

يحـــدث استبدال للصوديوم بأيونات أخرى مثل الكالسيوم وذلك يؤدى إلى تراكم المواد فـــي مســـام التربة وبذلك تنخفض النفاذية . أما فى حالة إضافة الجبس ($C_a\ So_4$) إلى الـــتربة يصـــبح الكالسيوم الأيون السائد ومن خلال التبادل القاعدى تصبح التربة ذات نفاذيـــة أعلـــى .هذه التغيرات فى النفاذية تسبب التغير فى سرعة المياه الجوفية والتى تؤثر على نوعية المياه . التبادل القاعدى يغير المياه من اليسر إلى العسر . التغيرات فى نوعية المياه تزداد فى الخزانات الجوفية الضحلة عن العميقة نظراً لسهولة تأثرها بالتغـــيرات الموسمية والأنشطة التنموية . ترسيب كربونات الكالسيوم وانطلاق ثانى أكسيد الكربون يكون نتيجة خفض الضغط و/ أو زيادة درجة الحرارة .

الخواص الطبيعية للمياه الجوفية :

Physical Properties Of Ground Water

التحاليل الطبيعية للمياه الجوفية تشمل تعيين اللون ، المذاق ، الرائحة ، العكارة ، درجـــة الحرارة . لون المياه يكون نتيجة وجود أملاح معدنية ومواد عضوية مذابة وأما المذاق والرائحة فيمكن اكتشافها بالخبرة أو بطريقة كمية على أساس أقصى درجة تخفيف مقارنة بمياه ليس لها مذاق أو رائحة .

العكـــارة هـــى مقـــياس للمـــواد الصلبة والهلامية العالقة فى الماء مثل المواد العضوية ، الكائنات الحية الدقيقة وجسيمات الطمى والطفل . يمكن قياس العكارة على أســـاس طـــول الشـــعاع الضوئى المار خلال الماء والذى يسبب اختفاء صورة شمعة قياسية . المياه الجوفية من الخزانات الجوفية الزلطية أو الرملية تكون عادة خالية من العكـــارة . المـــياه العكـــرة تكون من الخزانات ذات الصخور المتفتتة أو من العيون الطفلـــية حيـــث الخزان الجوفى الضحل بعد فترات الأمطار . المياه المحملة بأملاح الحديد يكون نتيجة وجودها فى خزان جوفى به مركبات الحديد التى تذوب بفعل ثانى أكسيد الكربون وتتحول إلى أملاح البيكربونات المذابة والتى ترسب عند أكسدتها بفعل الهـــواء الجـــوى بعـــد سحب المياه من البئر ، وقد تكون المواد الحديدية بسبب تآكل المواسير والطلمبات الحديدية .

تتأثر درجة حرارة المياه فى الخزانات الجوفية الضحلة بالتغير المستمر اليومى والموســمى لدرجة حرارة السطح وبدرجة أقل بالتدرج الحرارى فى باطن الأرض . بســبب التدرج الحرارى الجيولوجى تزداد درجة الحرارة بين ١ْم إلى ٥ْ م (بمتوسط ٢,٥ْ م) لكل ١٠٠ متر عمق .

درجــة حــرارة المياه الجوفية العميقة تظل مستقرة تقريباً . لقد وجد أن المياه الجوفــية على عمق من ١٠ إلى ٢٠ متر ثابتة دائماً وتزيد عن متوسط درجة حرارة الهــواء الجوى اليومية ١ إلى ١,٥ْ م . ميزة ثبات درجة حرارة المياه الجوفية يستفاد بهــا فى الصناعة واستخدامات أخرى كما فى حالة التحكم فى درجة حرارة الطلمبات فــى المبانى للتبريد فى فصل الصيف وللتسخين فى فصل الشتاء . الآبار العميقة فى المناطق الجيولوجية الحرارية (Geothermal) يمكن أن تصل درجة حرارة المياه أعلى من درجة الغليان (١٠٠ْ م) والعادى هو درجة حرارة ما بين ٢٠٠-٣٠٠ْ م . ويستفاد بهذه المياه فى التدفئة وتوليد البخار لإنتاج الطاقة . اختبارات درجة الحرارة والعكارة واللون تتم فى الموقع عند أخذ العينات مباشرة.

الفصل الثانى

استكشاف المياه الجوفية

٢

استكشاف المياه الجوفية Grond Water Exploration

زاد أخـــيرا الاحتياج إلى موارد المياه من المصادر الجوفية وذلك بعد استغلال مصـــادر المياه الجوفية القريبة والذى يصعب من الحصول على مصادر جديدة ذات نوعية مياه جيدة .

تقنيات الاستكشاف تتطلب وجود (١)خرائط هيدرولوجية والتقارير المتوفرة من الجهات البحثية (٢) المساحة الجيوفيزيقية على سطح الأرض (٣) طرق أخذ العينات من آبار الاختبار (٤) عمل لوغاريتم جيوفيزيقى لبئر الاختبار (٥) خرائط جغرافية .

الأجهـــزة الجيوفيزيقـــية (Geophysical Instruments) توفـــر المعلومـــات عن الخصـــائص الطبيعـــية والكيميائـــية للمجال تحت سطح الأرض . توجد حاليا معدات لوغاريـــتم البـــئر الجيوفيزيقية (Geophysical Well Logging Equipiments) المتطورة لاختبار المنطقة الأكثر إنتاجية فى البئر التى يجب أن توضع عندها المصفاة .

ولكـــن يجب معرفة أن البيانات الجيوفيزيقية توفر معلومات يلزم تأكيدها ولذلك فـــإن كل هذه البيانات يجب تأكيدها بعمل البئر الاختبارى لأخذ العينات هذا بالإضافة إلى أن هذه البيانات يجب أن يقوم بتحليلها شخص خبير ومدرب .

الخطوات الأولية لاستكشاف بئر المياه هى :

- الحصول على عينات واقعية من التربة المخترقة .
- يتم عمل لوغاريتم جيوفيزيقى لبئر الاختبار المكتمل .
- بين العمق إلى خط المياه الاستاتيكى لكل نوع من التربة له نفاذية جيدة .
- أخذ عينات ماء لتعيين نوعية المياه .

الخرائط :

نوع المواد الجيولوجية وطبوغرافية سطح الأرض فى المنطقة يؤثر على مكان المياه الجوفية . فمثلاً توجد المياه الجوفية فى الوديان قرب السطح وبكميات كبيرة عن المـــناطق حيـــث الأرض المرتفعة . توضح الخرائط الطبوغرافية معلومات عن شكل

وحجم وظواهر التوزيع على سطح الأرض وأماكن مصادر المياه مثل المجارى المائية والبحـــيرات وكذلـــك الإنشـــاءات كالمبانى والطرق والسكك الحديدية .. الخ. وكذلك المنخفضات والمرتفعات فى المنطقة . النباتات فى المناطق القاحلة تبين احتمال وجود المياه الجوفية .

الخرائط الجيولوجية : توضــح المواد ذات النفاذية والمواد الصماء وطبيعتها . كما

- توضــح نـــوع الصـــخور والتوزيع الجيولوجى للمواد وأنواعها والفواصل والفوالــق . يوجد فى الخرائط الجيولوجية مقطع يوضح سمك ونوع التربة يفيد فى تقييم إنتاجية الماء من الآبار.

الخرائط الهيدروكيميائية : Geohydrochemical Maps

وهذه توضح الخصائص الكيميائية للمياه الجوفية . يوجد ثمانية أنواع من المياه أمكن التعرف عليها كما هو موضح فى الجدول (٢/١) . وتوجد خرائط أخرى.

جدول (٢/١) الألوان التى تمثل ثمانية أنواع من المياه

نوع الماء	الأيونات السائدة		نوع الماء
	آن أيونات	آن أيونات	
<u>مياه البيكربونات</u> كالسيوم مغنسيوم صوديوم	CHO_3^- CO_3''	– – Ca++ Mg++ Na+ أو (Na+ + K)	<u>أزرق</u> أزرق فاتح أزرق بنفسجى أزرق غامق أزرق بروسيا
<u>مياه الكبريتات</u> كالسيوم مغنسيوم صوديوم	So4" SO_4''	Ca++ Mg++ Na+ أو (Na+ + K+)	<u>أصفر وبنى</u> أصفر بنى فاتح بنى غامق
<u>مياه الكلوريد</u> مياه الكلوريد كالسيوم صوديوم		Ca++ Na+ أو (Na+ + K+)	<u>أخضر</u> أخضر فاتح أخضر غامق

الصور الجوية Aerial Photographs

يوجد نوعين أساسيين للصور الجوية ، وهما المأخوذة قريبا من الأرض ، والمأخوذة من الأقمار الصناعية (Satellites) التى تدور حول الأرض عند حوالى ٣٥ كيلو متر .

الصور الجوية تكشف عادة معلومات هيدرولوجية التى لا يمكن رؤيتها بوضوح عند سطح الأرض . مثل الفوالق ،الاتصال ،المجارى القديمة للأنهار والأحجار التى يجرفها النهر الجليدى (Moraines) . بخلاف الخرائط الطبوغرافية والجيولوجية فإن التصوير الجوى يحتوى على انحرافات كثيرة فى المقياس ، أى أن ارتفاع الظواهر الأرضية يصعب تحديده بدون استخدام معدات خاصة .

التصوير الجوى يساعد فى تحليل الشروخ الطولية أقل من واحد ميل (١,٦ كيلو متر) . حركة القشرة الأرضية على امتداد الفوالق فى الصخور النارية والصخور التحويلية تكون منطقة من الكتل الحجرية التى يمكن أن تحتوى على كميات ضخمة من المياه . مسار الشقوق يمثل مناطق ذات مسامية عالية وتوصيل عالى فى التربة الكربونية وفى الصخور النارية والتحويلية . يمكن استخدام الصور الأرضية لمساحة مناطق كبيرة لوضع برنامج المساحات التى يمكن تصويرها بالجو . بالإضافة أنه يمكن التعرف على مساحات السحب والشحن وكذلك الاختلاف فى منسوب المياه الجوفية .

أخذ عينات التربة Formation Sampling

فى عمليات الاستكشاف للمياه الجوفية يجب عمل التحاليل للمواد الجيولوجية فى الموقع وطاقة هذه المواد فى إنتاج مياه الآبار . تؤخذ العينات من التربة أثناء عملية الحفر ثم تقييم نتائج الاختبارات بعد تمام الحفر واختبار ضخ البئر . يجب استخدام طريقتين أو أكثر للاستكشاف لمعرفة طبيعة المواد وعمقها الحقيقى . معظم المستكشفين للمياه الجوفية يستخدموا واحد أو أكثر من آبار الاختبار قبل إنشاء بئر الإنتاج . المعلومات من آبار الاختبار يستفاد بها فى غرضين وهما تقدير موارد المياه

الجوفـــية لمساحة كبيرة أو للمساعدة فى تصميم بئر أو أكثر فى مكان معين . الطريقة الأكـــيدة لمعرفة طبيعة التربة أسفل سطح الأرض هو بالحفر خلالها والحصول على عيـــنات أثناء الحفر وتسجيل البيانات . إن توصيف خصائص التسجيل للصخور (Lithologic Logs) للطبقات المختلفة فى ثقب الحفر يتوقف على طريقة الحفر (Drilling Method) . الطـــريقة المتـــبعة عادة فى توصيف صخور التربة تتكون من توصيف الخصـــائص الجيولوجـــية لكل طبقة والعمق عند كل تغير وسمك الطبقة والعمق إلى المياه . مثالياً يتولى القائم بالحفر بجمع عينات واقعية على أعماق مقاسة وعلى فترات التى تبين الخصائص للتربة المخترقة . لآبار اختبار حتى عمق ٦١ متر تؤخذ العينات كل ١,٥ متر وعند كل تغيير فى التربة . ولكن أخذ العينات كل ١,٥ متر غير عملى فى آبار الاختبار العميقة حيث تكون الطبلقات بسمك مئات من الأمتار . قد يكون من الصعب عمل العلاقة بين عينة معينة مع العمق المعين فى آبار الاختبار بالحفر العميق نظراً للتلوث بمواد الحفر الناتجة من جدران البئر حيث تنفصل المواد على طول عمق الحفـــر . العيـــنات المأخوذة عادةً بطرق الحفر المختلفة هى القطع الناتجة بفعل لقمة الحفـــر (drill bit) حيـــث يمكـــن الاعتماد عليها فى التعرف على أفضل مواد الخزان الجوفى وفى تحديد قطر فتحة المصفاة .

يلزم الحذر فى أعمال للتجميع الدقيق لحساب البيانات . ملاحظات الحفار يجب أن تســـجل حيـــث عملية الحفر ومعدل الاختراق بين طبيعة التكوينات وخاصة العمق حيث التغير فى التكوينات . ولهذا يلزم عند تسجيل الانتباه لصوت وحدة الحفر (Rig) والتغـــيرات فى منسوب سائل الحفر . فمثلاً عند الحفر بالطريقة الدوارة (Rotary Method) فإن عملية الحفر فى الطمى والمحار تكون ناعمة . التوقف من آن إلى آخر أو الخفـــض المؤقت فى الاختراق يمكن أن تبين وجود زلط فى الطمى أو وجود مادة شبه متماسكة فى الطمى . التوقف المستمر يوضح عادة تكوينات من الزلط والرمل أو الحجـــر الـــرملى . الحفـــر الناعم مع الاختراق السريع يحدث فى الطبقات من الرمل الناعم . رد فعل التربة مشابه عند الحفر بتجهيزة البريمة (Auger Rigs) .

ذوى الخبرة من الحفارين الذين يعملون بطريقة تجهيزة الكابل (Cable Tool) يمكنهم عادة تقدير طبيعة التكوينات وذلك باستشعار كابل التحزيم أو بملاحظة منسوب المـــياه فى البئر . منسوب المياه يوضح ما إذا كانت المياه أسفل القيسون مباشرة غير نفـــاذة (طمى) أو إذا كانت تأخذ مياه (رملٌ جاف) أو تصرف مياه إلى ثقب الحفر (رمال مشبعة) .درجة تحرك الرمال فى القيسون يوضح بيانات عن تماسك أو تفكك مـــادة الـــتربة . الرمال المتماسكة لا تتهايل الرمال المتفككة قد.تتهايل بما يجعل من الصـــعب تنفيذ عملية الحفر . ضغط السائل فى الخزان الجوفى المحصور قد يقلل من تأثير تفكك الرمال .

فـــى حفر بئر الاختبار بطريقة الحفر الدوار (Rotary Drill) حساب زمن الحفر يوفـــر معلومات عن طبيعة التكوينات حيث طبيعة المادة تحدد معدل تقدم الاختراق . الـــرمال النظـــيفة تخـــترق عـــادةً بسرعة أما الرمال المختلطة بالطمى فيكون معدل الاختراق أبطأ ، الرمال المفككة تخترق بسرعة من الرمال المتماسكة والطمى والمحار المتماســـك والصخور الصلبة تخترق ببطء أكثر من أى مادة . حساب زمن الحفر يتم كمنحنى أو مخطط يوضح زمن الاختراق لكل طول من أعمدة الحفر (Drilling rod) . أى تغـــير واضح يوضح التغير فى المادة الجارى حفرها . قمة وقاع وسمك كل نوع مـــن أنواع التربة يمكن حسابها بالتقريب من المخطط أو المنحنى . كل حفار يلاحظ سواء كان معدل الحفر سريع أو بطئ ثم يفسر هذه المعلومة بطريقة تعتمد على الخبرة ، ولكن قيمة التسجيل للحفر المتتالى لزمن الحفر لكل مرحلة يمكن التنبؤ به .

العوامل الأخرى ذات التأثير على معدل الحفر بخلاف طبيعة تكوينات التربة . الثقل على قطعة الحفر (Bif) ، مدى حدة قطعة القطع (Sharpness Of the bit) ، قطر الحفر، نوع قطعة الحفر، سرعة الدوران، السرعة خلال قطعة فونية الحفر(Nozzle) .فمـــثلاً يـــزداد الـــوزن على قطعة الحفر كلما زاد عمق الحفر وإضافة ماسورة حفر إضـــافية ، وبذلك تزداد سرعة الاختراق . تقييم حساب الزمن هو مسألة نسبية ، وإن كان الزيادة المتدرجة فى الوزن على قطعة الحفر ليس لها تأثير كبير للاستفادة بالنتائج

فــى حالة الدفع الهيدروليكى إلى أسفل عند اختراق التكوينات الصلبة عندئذ يؤخذ فى الاعتــبار القوة المستخدمة وتسجيلها لتقييم النتائج . إن التسجيل الحذر للوقت يبين أن ليس للعوامل الميكانيكية المذكورة سابقا تأثير عدا الدفع الهيدروليكى وطبيعة تكوينات الــتربة المخترقة . ولأفضل النتائج يجب المحافظة على ثبات هذه العوامل تقريباً بما يجعل الحفر يتقدم تحت ظروف واحدة تقريباً .

طرق حفر بئر الاختبار وطرق أخذ العينات:

لا توجــد طريقة واحدة مناسبة للحفر فى كل الحالات وعادة يستخدم طريقتين مختلفتيــن لحفــر نفــس بــئر الاختــبار . فمثلاً اخذ العينات بواسطة عمود البريمة (Solidstem Augers) حتى منسوب خط المياه الاستاتيكى ، يليه طريقة الدوران المباشر باستخدام سائل الحفر . القاعدة الأساسية لنجاح اختبار الحفر هو دقة العينات وسرعة الحفر .

عيــنات التربة يمكن أن تؤخذ بطرق مختلفة طبقاً لنوع قطعة الحفر المستخدمة (rig) . بالنســبة للــتربة المتماســكة تكون العينة الواقعة بما تمكن من اختيار فتحة المصــفاة بالنســبة للــتربة الصخرية تكون العينة الواقعية بما تكون من تقدير فتحه المصفاه لدخول المياه إلى البئر وذلك بإظهار الشقوق أو التربة الأكثر نفاذية .

طريقة الدوران المباشر: Direct Rotary Method

تستخدم هذه الطريقة لحفر بئر الاختبار وهى مناسبة للتربة الغير متماسكة والتى لا تحتوى على كتل حجرية . وهى المستخدمة لحفر بئر اختبارى أكثر عمق عن ٣٠٥ مــتر (١٠٠٠ قــدم) . طــريقة الدوران المباشر لحفر بئر الاختبار ذات قطر ٤-٦ بوصة. وعيوب هذه الطريقة أنه لا يمكن قياس منسوب المياه الاستاتيكى بدون إنشاء قيســون مــع إزالة معظم سائل الحفر. جمع العينات الممثلة للواقع عند الحفر بطريقة الــدوران المباشــر تمثل عدة مشاكل، حيث يتوقف الحصول على عينات واقعية على مهارة وخبرة القائم بالحفر. حيث يصعب الحصول على عينات واقعية على عمق أكثر مــن ١٨٣ مــتر. عينات الرمل أو الزلط والرمل يتم غسلها إلى حد ما بواسطة سائل

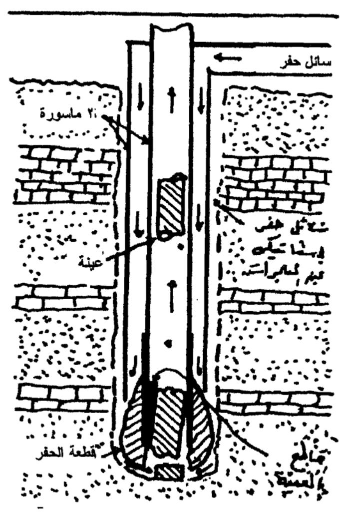
الحفر مع نقلها إلى أعلى من قاع الحفر بالإضافة إلى فصل الرمال الناعمة عن الخشنة والــتى تصعد أولاً. لذلك يتم أخذ العينات على مرحلتين فى المرحلة الأولى يتم تدوير الســائل إلى رفع كل التربة المختلطة بالسائل. ثم يبدأ تشغيل الحفر إلى مسافة محددة مــثلاً لعمــق ١,٥ متر كل التربة لكل مرحلة يتم الحصول عليها مع استمرار التدوير بدون حفر . وذلك مع استمرار ماسورة الحفر فى الدوران بدون الحفر للمحافظة على الــتدفق المنــتظم . يتم الحصول على العينات مع التخلص من سائل الحفر بعد ترك العينة لترسب ثم الخلط الجيد للعينة ثم توصيفها وتسجيل ذلك على سجل البئر (Well log) . السرعة المناسبة لصعود السائل هى من ٣٨ إلى ٦١ متر فى الدقيقة .

أخذ العينات من أجناب الحفر : Side Well Coring

فــى هــذه الطريقة تؤخذ العينات باستخدام بندقية خاصة مجهزة بتجهيزة أخذ العينات حيث تنخفض إلى عمق الحفر . بعد الإطلاق كهربائياً فإن الطلقة تظل عالقة . يمكــن أخــذ العيــنات مــن قلب التربة والتى تختبر من ناحية النفاذية والتوصيل الهيدروليكى .

طريقة الحفر بالقيسون المزدوج Dual Wall Method

الحفر بطريقة الحفر الدوارة باستخدام تجهيزات الحفر (Drilling Rigs) المزودة بماسورتين . فى هذه الطريقة تكون ماسورة الحفر وقطعة الحفر متصلتين بحيث التقدم فى آنٍ واحد . يستخدم الماء أو الهواء كسائل حفر . الاستعادة المستمرة للعينات يكون سهل عند استخدام الهواء كسائل حفر . وذلك بسبب الدفع المستمر لقطع عينات التربة إلى ماسورة الحفر مع عدم التلوث بالتربة من الحفر العلوى . يمكن جمع العينات من أعمــاق أكثر من ٤٠٠ متر . لا يتم سحق العينة وفى حالة استخدام الماء كسائل حفر يجــب أن يكــون نظــيفاً . ســائل الحفر يدور إلى أسفل بين الماسورتين ويرتفع فى الماســورة الوسطى مما يدفع العينات إلى السطح . تجهيز قطعة الحفر بتجهيزة كسر آلية التى تعمل على فواصل ٥ بوصة والتى ترفع العينات بواسطة سائل الحفر . وبهذه الطريقة أمكن الحصول على عينات حتى عمق ٦٠٠ متر شكل (١-٢) .



شكل (١-٢) فى هذه الطريقة لأخذ العينات باستخدام قطر حفر من الكربيد

الحفر بالبرنمة : Auger Drilling

يستخدم الحفر بالبريمة فى حفر آبار الاختبار لأساسات الكبارى والطرق والإنشاءات الأخرى . واستخدام الحفر بالبريمة زاد بالنسبة لاستكشاف المياه الجوفية الضحلة نظراً لسرعة تركيب بريمة الحفر ، وكذلك سرعة الاختراق ، يمكن أخذ العينات عند أى عمق مع تقدم الحفر . أقصى عمق هو ٧٦,٢ متر .يمكن الحصول على العينة بطرق مختلفة من هذه الطرق هو رفع قطعة الحفر (البريمة) من آن لآخر لأخذ العينات الملتصقة بها.

تـداول العينات : يكون وزن العينة من ٢٢٥ إلى ٤٥٠ جرام مع توصيفها جيداً . يتم التخلص مـن المياه قبل إرسال العينة إلى المعمل ولا يتم غسيل العينة . ويتم تسجيل عمق الحفر للعينة وسمك طبقة العينة ، وكذلك وجود سائل حفر .

طريقة الاستكشاف الجيوفيزيقية: (Geophysical Exploration Methods)

تسـتخدم طرق الاستكشاف الجيوفيزيقى إما قبل أو أثناء إنشاء البئر للحصول علـى معلومات عن طبيعة التربة وعن وجود والخصائص الكيميائية للمياه الجوفية ، كما تفيد بعض الطرق فى تحديد تأثير إنشاء البئر. بعض الطرق تتم على سطح التربة وأخرى تحتاج بئر اختبار . وبصرف النظر عن الطريقة المستخدمة فكلها تعتمد على مقارنـة الخـواص الطبيعـية والكيميائية للماء ومختلف طبقات التربة . تقسم طرق الاستكشـاف الجيوفيزيقـية إلـى عدة أقسام وهى الميكانيكية، الكمية (gravimetric)، الكهربـية، النـووية، الحرارية، السمعية (acoustic) .ويتم تحديد الطريقة طبقاً لنوع المعلومات المطلوبة، طبيعة التربة الحاملة للمياه وسائل الحفر .

طرق الاستكشاف السطحى : Surface Geophysical Methods

انكسار وانعكاس الموجات السيزمية : Seismic Refraction\Reflection

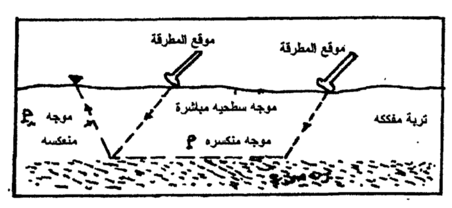
طرق انعكاس الموجات السيزمية تستخدم لتعيين سمك ومدى تماسك مادة التربة الحاملـة. الاستكشاف السيزمى مبنى على توزيع السرعة بالتوليد الصناعى لموجات زلزال على الأرض . يمكن عمل موجات زلزال بالطرق على لوح معدنى ، باستخدام كرة ثقيلة أو باستخدام المفرقعات . الطاقة من هذه المصادر تنقل خلال التربة بواسطة موجـات إلاسـتيكية (Elastic Waves) . كمية الطاقة منخفضة نسبياً مقارنة بالطاقة الناتجة عن الزلزال . الموجات تسمى موجات إلاستيكية نظراً لأنه عند مرورها على نقطة فى الصخر فإن الحبيبات يحدث لها إزالة وقتية ثم تعود سريعاً لوضعها الأصلى بعـد مرور الموجة . يمكن إنتاج ثلاثة أنواع من الموجات وهى موجات الانضغاط P (Compressional) وموجـات القـص S (Shear) والموجـات السطحية . وصول هذه

الموجات يبين بواسطة جهاز قياس الصوت الناتج من التربة (Geophones) أو باستخدام مقياس الزلازل (Seismometers) المثبت على سطح الأرض .

موجات الانضغاط هى الأولى التى تصل إلى جهاز مقياس الصوت وهى الأكثر استخداماً فى الاستكشاف . عموماً كلما زادت الكثافة واللدونة للصخر ، كلما زادت سرعة انتقال موجة الانضغاط . تنخفض السرعة كثيراً وتتشتت الطاقة بسرعة فى حالة التربة غير متماسكة أو ضعيفة التماسك .

تأخذ موجة الانضغاط ثلاث ممرات واضحة فى التربة : مباشرة (سطحية) ، منكسرة ، ومعكوسة . فى حالة طبقتين من التربة فإن الممرات الثلاث للموجات موضحة فى الشكل (٢-٢). يتوقف وقت الوصول الصحيح للموجات السيزمية على أى من المسارات الذى ستتخذه وكثافة المادة . نبضة سيزمية واحدة يمكن تسجيلها كثلاث موجات منفصلة (طبقاً لوصولها) فى جهاز التسجيل . عمليات الموجة التى تصل أولاً هى التى تسجل بسرعة . تستخدم موجات الانكسار في الاستكشاف ، حيث تصل الموجات المباشرة (السطحية) بعد موجات الانكسار والانعكاس على جهاز استقبال الموجات وذلك نظراً لأن المواد السطحية عادة تكون أقل كثافة من المواد العميقة . ونظراً لأن الموجات السطحية لا تعطى معلومات عن الخزان الجوفى لذلك يستفاد بموجات الانكسار والانعكاس لإعطاء المعلومات عن الخزان الجوفى .

عند الاستكشاف بالانكسار يتم قياس الزمن الذى تستغرقه الموجة السيزمية للوصول إلى واحد أو أكثر من أجهزة الاستقبال الموضوعة على مسافات معلومة من مصدر الموجة السيزمية . مع توقيع العلاقة بين الوقت – الزمن يمكن تقدير عمق التكوينات الجيولوجية المختلفة فى مكان محدد ، كل نوع من أنواع التربة له سرعة سيزمية خاصة والتى تؤثر على زمن الوصول بعض أنواع السرعات السيزمية للمواد جدول (٢-٢) .



شكل (٢-٢) الموجات السيزميه السطحيه والمنعكسة والمنكسرة

جدول (٢-٢) المجال التقريبى للسرعة للموجات المنضغطة لبعض مواد التربة

المادة	السرعة متر / الثانية
تربة سطحية	٣٠٥ – ٦١٠
زلط ، رمل جاف	٤٥٧ – ٩١٥
رمل رطب	٦١٠ – ١٨٣٠
طمى	٩١٥ – ٢٧٤٠
الماء طبقاً لدرجة الحرارة ونسبة الأملاح	١٤٣٠ – ١٦٨٠
مياه البحر	١٤٦٠ – ١٥٢٠
حجر رملى	١٨٣٠ – ٣٩٦٠
حجر جيرى	٢١٣٠ – ٦١٠٠
ملح	٤٢٧٠ – ٥١٨٠
جرانيت	٤٥٧٠ – ٥٧٩٠
صخور تحويلية	٣٠٥٠ – ٧٠١٠

الاستكشاف بالموجات الكهرومغناطيسية : Electromagnetic Surveys

يوجد طريقتين لاستخدام الموجات الكهرومغناطيسية فى البحث عن المياه الجوفية وتلوث المياه الجوفية ، والاختلاف بينهما مبنى على تردد التشغيل ، عند

الــتردد العــالى جداً تنتشر الموجات الكهرومغناطيسية فى التربة فى خط مستقيم إلى أعمــاق تختلف من بضعة أمتار إلى عدة عشرات من الأمتار طبقاً للتوصيل الكهربى للتربة . أجهزة التردد للموجات تسمى رادار الاختراق للتربة . وعند التردد المنخفض فإن الاختراق يكون لعدة آلاف من الأمتار ولكن فى هذه الحالة يكون اختراق الموجة (Microwave) بطــئ فى الأرض أكثر من السير فى خط مستقيم . الأجهزة المستخدمة فـــى هــذه الحالة تسمى أجهزة قياس التوصيل للتربة Ground Conductivity Meters . استخدامات الموجات السيزمية يماثل انعكاس الموجات الكهرومغناطيسية .

نظـــراً لأن كلـــيهما يســـجل الوقت اللازم لانتقال الموجة على سطح التربة ثم انعكاســـها على السطح . ولكن مواجهة الموجة السيزمية هى سرعة الموجة السيزمية والـــتى تـــتوقف على كثافة التربة على كلاً جانبى المواجهة . على الجانب الآخر فإن الموجـــة الكهرومغناطيسية تعرف عند التردد العالى جداً بأنها التغيرات فى التوصيل الكهربى ، النفاذية المغناطيسية ، العزل الكهربى ، وهذه العوامل الثلاثة تشكل المقاومة الظاهـــرية . تنـــتقل الموجـــة الكهرومغناطيسية خلال الأرض بسرعة تساوى سرعة الضـــوء ، ولكن الموجات السيزمية تنتقل بسرعة الصوت ، ولذلك فإن زمن الانتقال يجـــب قياســـه بمنـــتهى الحـــرص . يمكن الحصول على البيانات باستخدام الموجات الكهرومغناطيســـية بتنفـــيذ الحســـابات بالكمبـــيوتر . يســـتخدم جهـــاز الموجـــات الكهرومغناطيســـية لقـــياس التوصـــل لمواد التربة وهو لا يتطلب الالتصاق المباشر بـــالأرض عـــند جمـــع البـــيانات ، ولهذا يمكن الحصول على المعلومات بسرعة فى المناطق المرتفعة وفى المناطق العشوائية وفى مختلف الأجواء ..

طريقة المقاومة الكهربية : Electrical Resistivity Method

طريقة المقاومة الكهربية هى أكثر الطرق الجيوفيزيقية استخداماً فى استكشاف المياه الجوفية .. وهى عبارة عن مقاومة الوسط الجيولوجى بالنسبة للتيار عند استخدام فرق جهد (فولت) .

$$R = \frac{V}{I}$$

حيث R = المقاومة ، V = الفولت ، I = التيار ، النوع مادة (تربة) معينة ذات خصـــائص مقاومـــة ، فإن المقاومة تتناسب مع طول المادة الجارى قياسها وتتناسب عكسياً مع مساحة المقطع .

حيث $R = \frac{PL}{A}$ أو $\frac{RA}{L} = P$ $\left[R = \frac{PL}{A} P = \frac{RA}{L}\right]$

حيـث P = خصائص المقاومة للمادة الجيولوجية ، A = مساحة المقطع ، L = الطول ، وحدات المقاومة هى الأوم – قدم أو أوم – متر .

فى الاستكشاف بالمقاومة ، يتم إرسال تيار كهربى ثابت أو تيار منخفض التردد خلال التربة بين قطبين . نظراً لما تحدثه مادة التربة من مقاومة لمرور التيار ، فإنه يحـــدث فقد فى الفولت مع مرور التيار من قطب إلى آخر . الفقد فى الفولت (الجهد) الناتج عن مرور التيار فى التربة يتم قياسه بأقطاب أخرى توضع بين أقطاب التيار .

درجـــة الصخر فى توصيل التيار تتوقف على ثلاث عوامل : كمية النفاذية فى الصخر ودرجة الاتصال بين الفراغات وحجم المياه فى هذه الفراغات وقدرة توصيلها الكهـــربى . المـــياه وخواصها الكيميائية هى العامل الرئيسى للتوصيل الكهربى نظراً للمقاومـــة الكهربـــية للصخور . ولهذا تزداد المقاومة فى الرمل والطمى الجاف عن الـــرمل والطمـــى المشـــبع . وتـــنخفض المقاومة الكهربية مع النفاذية ، والتوصيل الهيدروليكى والمحتوى من المياه وملوحة المياه . قيمة المقاومة لمختلف المواد كما فى الجدول (٣-٢)

جدول (٣-٢) مجال قيم المقاومة لبعض مواد التربة

المادة	المقاومة أوم – متر
طمى	من ١ إلى ١٠٠
الطفل الرملى (Loam)	من ١٠ إلى٧٥
تربة سطحية	من ٧٥ إلى ٢٥٠

المادة	المقاومة أوم – متر
تربة طفلية	من ١٠٠ إلى ٥٠٠
تربة رملية	من ١٠٠٠ إلى ٧٠٠٠
رمال مفككة	من ١٠٠٠ إلى ١٠٠٠٠٠
حجر جيرى	من ١٠٠ إلى ٧٠٠٠
بازلت	من ٢٠٠ إلى ١٠٠٠

قيم المقاومة يمكن معرفتها بطريقتين مختلفتين بالاستكشاف السطحى . أحد هذه الطرق الذى يسمى الرنين الرأسى (Vertical Sounding) وهو الاستكشاف الرأسى .

يمكن الحصول على قيمة المقاومة بطريقتين للاستكشاف السطحى . الأولى هى الرنيـن السـوطى تتم بالاستكشاف الرأسى حيث القطبين الخارجين هما أقطاب التيار والقطبيـن الداخلين هما أقطاب الجهد (Potential) . فى حالة مرور تيار إلى الأرض خلال القطبين C2 , C1 شكل (٣-٢) يمكن قياس فرق الجهد فى القطبين P2 , P1 يلاحظ أن التـيار لا يسـير فى اتجاه مستقيم فإنه ينتشر فى شكل مروحة من أحد القطبين ثم يجمـع عـند القطـب الآخـر ثـم يترك التيار الأرضى . نظراً لاختلاف المكونات الجيولوجـية فـى مقاومـة تدفـق التيار ، فإنه يحدث خفض فى الجهد (الفولت) . المقاومـة الظاهـرية (Pa) يـتم الحصول عليها من النسـبة ما بين الفـولت والتيار مضروبا فى المسافـة بين الأقطاب (a)

$$Pa = \frac{6.28\,av}{I}$$

المقاومة هى متوسط مقاومة التربة بكل أنواعها أعلا من هذا العمق . مع تغير قيمة المقاومة فإن ذلك يوضح تغير فى حالة التربة أعلاها . كل قيمة توضح متوسط المقاومـة ٣ إلـى ٦ متر من المقطع الرأسى لتكوينات التربة . وهذه القيمة قد تكون لأكـثر مـن مادة من مواد التربة والماء . وهذا يظهر أهمية الخبرة للتفسير الصحيح للقـراءات . كلما زاد الفاصل بين الأقطاب زاد عمق الاختراق الكهربى . لذلك يزاد

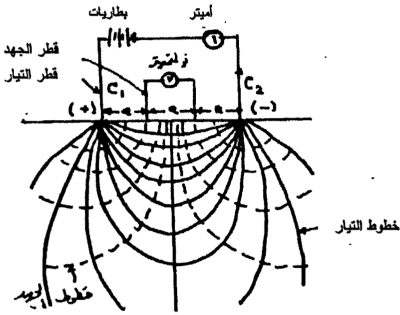
الفاصل بين الأقطاب على مراحل لتعيين التغيرات مع زيادة العمق .

فى طريقة الرنين الكهربى يتم إقامة عدة محطات مع تسجيل دقيق للبيانات . ثم توضع هذه البيانات على مخطط رأسى بمقارنة قيمة المقاومة يمكن التعرف على نوع التربة أسفل سطح الأرض .

الطـريقة الثانـية للاستكشـاف بالمقاومة تسمى المقاومة الجانبية (Electrical Profijing) . فـى هذه الطريقة يتم الاستكشاف على عمق واحد ، حيث يمكن الحصول علـى نوعـية مـواد التربة على عمق ثابت . وتستخدم هذه الطريقة فى البحث عن الخامات وفى الدراسات الجيولوجية . الاستكشاف السطحى بالمقاومة سواء الجانبى أو بالرنيـن له فوائد ومزايا كثيرة . حيث يمكن تغطية مساحات كبيرة بسرعة وبتكاليف زهيدة . يمكن تعيين خط المياه على عمق حتى ٥٠ متر من سطح الأرض .

الاستكشـاف السطحى بالمقاومة سواء بالصوت أو الجانبى له فوائد حيث يمكن تغطية مساحات كبيرة بتكاليف معقولة ، كما يمكن تعيين منسوب خط المياه فى معظم الحالات فى حدود ٥٠ متر من سطح الأرض ، وكذلك التعرف على نوع التربة .

الطـريقة الجيوفيزيقية الأخرى هى طريقة بئر الحفر حيث تستخدم أثناء مرحلة الإنشـاء لتعييـن أنسب مكان لوضع المصفاة وخاصة فى حالة الآبار العميقة وعالية الإنتاجية وكذلك تساعد فى تصميم البئر من هذه الطرق طريقة لوغاريتم المقاومة لبئر الحفر (Borehole) Resistivity Logs .



شكل (٣-٢) طريقة المقاومة السطحية لاستكشاف المياه الجوفية
يتم تغذية تيار بين قطبى التيار ويتم قياس الجهد عند أقطاب الجهد (الفولت)

ومـــن هـــذه الطريقة يتم تعليق قطب واحد أو أكثر فى كابل موصل وإنزاله فى البئر المملوء بسائل الحفر . ثم تغذية تيار كهربى لهذه الأقطاب من أقطاب أخرى موضوعة فـــوق ســـطح الأرض قريـــباً من قمة البئر أو بإنزالها البئر . يتم تسجيل التغير فى المقاومة الكهربية لكل الدائرة مقابل العمق للحصول على منحنى يسمى اللوج الكهربى أو لوج المقاومة.

الفصل الثالث

المناخ الهيدروليجى لمصر

٣

المناخ الهيدروليجى لمصر

تبلغ مساحة مصر حوالى مليون كيلو متر مربع وتنقسم جغرافياً إلى أربع أقاليم وهـــى (١) الدلتا والوادى شاملة منخفض الفيوم وبحيرة ناصر (٢) الصحراء الغربية شـــاملة ســـاحل الـــبحر الأبـــيض المتوسط والوادى الجديد وتوشكى والعوينات (٣) الصحراء الغربية شاملة سواحل البحر الأحمر والجزر وسلسلة جبال البحر الأحمر(٤) شبه جزيرة سيناء شاملة سواحل البحر الأبيض المتوسط وخليج السويس وخليج العقبة . يتغـــير المناخ من جاف إلىٰ شديد الجفاف .ترتفع درجة حرارة الهواء إلى أكثر من ٤٠ْم وقت النهار فى فصل الصيف ونادراً ما تصل إلى درجة الصفر فى فصل الشتاء .متوسط سقوط الأمطار على مصر ككل هو فقط ١٠ ملليمتر فى العام . وعلى الساحل الشمالى حيث معظم الأمطار فإن متوسط سقوط الأمطار هو أقل من ٢٠٠ ملليمتر فى العام ،والذى يقل بسرعة كلما اتجهنا جنوباً. معدل البخر عالى حيث يزيد عن ٣٠٠٠ متر فى العام .

تشـــمل هيدروغرافية مصر نظامين هما النظام المتعلق بالنيل والنظام المتعلق بالزمن المطير فى الأزمنة الجيولوحية الماضية .

الـــنظام المتعلق بالنيل يشمل الوادى والدلتا وهى منخفضات مورفولوجية . فى المســـاحة الفيضـــية يوجد نظام صرف فى المناطق المنزرعة وهذه تمتد إلى الأجناب حيـــث استصـــلاح الأراضـــى . نظام الصرف بعضها يصرف فى النيل نفسه أو فى البحر.

الـــنظام الهـــيدروغرافى الآخـــر فى مصر هو الشبكة المعقدة للمجارى الجافة (الوديان) والتى يرجع تكوينها إلى العصر المطير وهذا النظام يغطى أكثر من ٩٠% مـــن مســـاحة مصـــر ويشمل الصحراء الشرقية والغربية وسيناء . وهذه المساحات تصرف فى اتجاه وادى النيل والدلتا إلى المناطق الساحلية وإلى المنخفضات .

اللانـــد سكيب فى مصر يمكن تقسيمه إلى المرتفعات والمناطق المستوية ، التى تشـــمل كذلـــك المســـاحات الســـاحلية . وهذه التقسيمات لها تأثير على الإطار العام

الهــيدرولوجى لمصـــر . المــرتفعات تشـــكل المســاحات النشطة والشبه نشطة فى الاســتمطار . المـــناطق المســتوية بها أنشطة زراعية وعلى الأجناب يتم استصلاح أراضى من مياه النيل أو المياه الجوفية .

الإطار الهيدرولوجى (Hydrological Framework)

الإطار الهيدرولوجى لمصر يشمل ستة نظم للخزانات الجوفية .

١- الخـــزان الجوفى النيلى ويشغل منطقة المساحة الفيضية والأجناب الصحراوية حيث يعيش ٩٠% من المصريين .
٢- خزان جوفى الحجر الرملى النوبى ويشغل أساساً الصحراء الغربية .
٣- خزان جوفى المغره ويشغل أساساً الحد الغربى للدلتا .
٤- الخزان الجوفى الساحلى ويشغل السواحل الشمالية والغربية .
٥- خزان جوفى الكربونات (Karstified Carbonate) : وينتشر هذا الخزان الجوفى فى الجزء الشمالى من الصحراء الغربية .
٦- خزان جوفى الصخور الصلبة المفتتة وينتشر فى الصحراء الشرقية وسيناء .

ونظـــراً لوجـــود المـــياه فى ظروف مختلفة فى مختلف التكوينات الجيولوجية المختلفة. لذلك فسيتم مناقشة هيدرولوجية هذه التكوينات كالآتى :

خزان جوفى النيل :

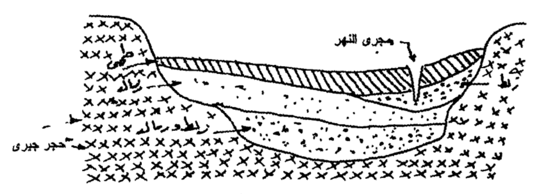
يوضـــح الشكل (١-٣) مقطع فى جيولوجية خزان جوفى وادى النيل . يتكون خزان جوفى النيل من الزلط والرمل المتدرج بينما امتداده على الأجناب فى الصحراء يشمل رواسب . فى وسط المستوى الفيضى يكون الخزان الجوفى شبه محصور (Semi Confined) حيث يصل سمك طبقة الطمى الرملى فى المتوسط إلى ١٠ متر . والطبقة السفلى للخزان الجوفى من الطمى البحرى . أقصى سمك لطبقة التشبع هو ٣٠٠ متر فـــى الوادى و ٨٠٠ متر فى الدلتا . قدرة انتقال المياه فى الخزان الجوفى تتراوح ما بيـــن ٢٠٠٠٠ متر مربع فى اليوم فى وسط المستوى الفيضى إلى أقل من ٥٠٠ متر مربع فى اليوم عند الأطراف.

متوسط منسوب المياه الجوفية ينخفض بالتدريج من ٦٥ متر عند أسوان إلى ١٥ متر عند القاهرة ثم يصل منسوب خط التشبع للمياه إلى حوالى ١ متر فى شمال الدلتا. التدفق العام للمياه الجوفية هو من الجنوب إلى الشمال ولكن يوجد حيود فى الاتجاه بعيداً عن مجرى النيل حيث يكون اتجاه التدفق من الجنوب الشرقى إلى الشمال الغربى نحو دلتا النيل . المصدر الرئيسى لتغذية خزان جوفى النيل هو مياه الرى . وتختلف التغذية طبقاً لنوع التربة ، مصدر مياه الرى ، طريقة الرى وتوفر شبكة الصرف . فى التربة الرملية حيث الرى الحوضى من النهر مع عدم وجود شبكة صرف يكون الفقد بالتسرب ما بين ١ إلى ٢,٥ ملليمتر فى اليوم .

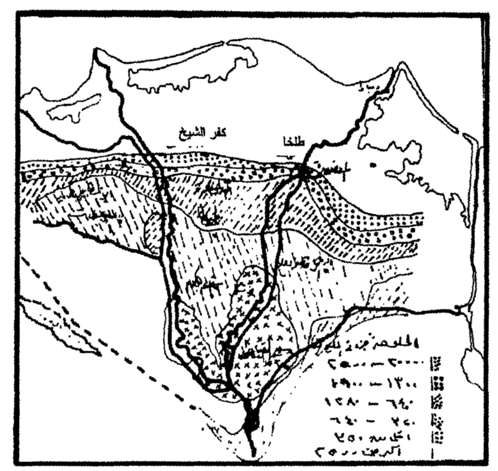
وفى المناطق الطفلية حيث يوجد نظام صرف يكون الفقد بالتسرب أقل من ٠,٥ ملليمتر فى اليوم . السحب من خزان جوفى النيل يتم إما بالتسرب إلى النيل (أكثر من ٣ مليار متر مكعب فى العام) أو السحب باستخدام آبار المياه ، أو التسرب العلوى للمياه الجوفية فى الجزء الشمالى للدلتا أشكال (٣/١، ٣/٢، ٣/٣، ٣/٤) توضح حالة المياه فى الوادى والدلتا. الشكل (٣/٤) يوضح خطوط الملوحة المتساوية في الدلتا.

خزان جوفى الحجر الرملى النوبى :

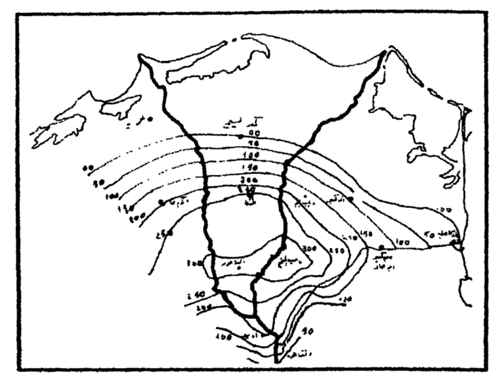
يشغل خزان جوفى الحجر الرملى النوبى مالا يقل عن ٣٠% من المساحة السطحية لمصر وجزء كبير من تحت السطح . وهو يمتد خارج الحدود إلى ليبيا (واحة الكفرة) والجزء الشمالى من السودان (واحة ساليما) . فى مصر خزان جوفى الحجر الرملى النوبى متعدد الطبقات أسفله طبقة صخرية .إقليمياً يتراوح السمك بين أقل من ٥٠٠ متر فى الجنوب إلى أكثر من ٣٥٠٠ متر فى الشمال حيث يتأثر الخزان الجوفى بدخول مياه البحر. فى منطقة الوادى الجديد ينقسم الخزان الجوفى إلى ثلاث خزانات جوفية رئيسية منفصلة .



شكل (١-٣) قطاع لوادى النيل قرب بنى سويف يوضح أن الوادى عباره عن قناه فى الصخور الجيرية ممتلئه برواسب من الزلط والرمل والطمى



شكل (٢-٣) ملوحه المياه الجوفيه فى الدلتا (جزء فى المليون)



شكل (٣-٣) مخطط يوضح سمك طبقة المياه العزبة فى خزان جوفى فى الدلتا

بواسطة عدسات شبه نفاذة من الطفل كما فى الجدول (١-٣) .

جدول (١-٣) خصائص خزان جوفى الحجر الرملى النوبى :

الخزان الجوفى	السمك بالمتر	الانتقال متر مربع فى اليوم
العلوى	٢٠٠	١٠٠-٥٠٠
الأوسط	٤٠٠	٥٠٠-٢٠٠٠
السفلى	٦٠٠	٣٠٠-١٠٠٠

الطاقة التخزينية لخزان جوفى الحجر الرملى النوبى تقدر ٢٠٠٦٠٠ مليار متر مكعب منها ٢٠٠٠٠٠ مليار متر مكعب فى الصحراء الغربية و ٥٠٠ مليار متر مكعب فى الصحراء الشرقية و ١٠٠ مليار متر مكعب فى سيناء . معظم الاستكشافات أثبتت أن هذه المياه هى مياه طبيعية (Fossil) غير متجددة ويتراوح عمرها ما بين ٢٠٠٠٠ إلى ٤٠٠٠٠ سنة . وعلى الجانب الآخر فإن التصرف من هذا الخزان يتم إما بالعيون والبخر، التسرب إلى خزانات جوفية أخرى والضخ . ويقدر الضخ السنوى

بحوالى نصف مليار متر مكعب سنوياً .

خزان جوفى المغره (Moghra Aquifer) :

يشغل خزان جوفى المغره معظم المنطقة غرب الدلتا وجنوب منخفض القطارة ، مساحته الكلية حوالى ٢٠٠٠ كيلو متر مربع .وهو يمتد كذلك إلى غرب الفيوم وشمال الواحات البحرية .والتربة رملية ، زلطية ، طفلية وطبقات من الطفلة والحجر الجيرى . قاع الخزان الجوفى من البازلت أو من طبقات الطفلة الصماء . المياه الجوفية عموماً تحت ظروف شبه محصورة . سمك طبقة التشبع للخزان الجوفى يتراوح ما بين ١٠٠ إلى ٨٠٠ متر . التوصيل الهيدروليكى يتراوح ما بين ٢٥ متر فى اليوم (وادى الفارغ) إلى واحد متر فى اليوم (منخفض القطارة) . العمق حتى منسوب خط التشبع للمياه الجوفية ما بين ١٠ متر قريباً من الدلتا إلى حوالى ٦٠ متر عند منخفض القطارة .

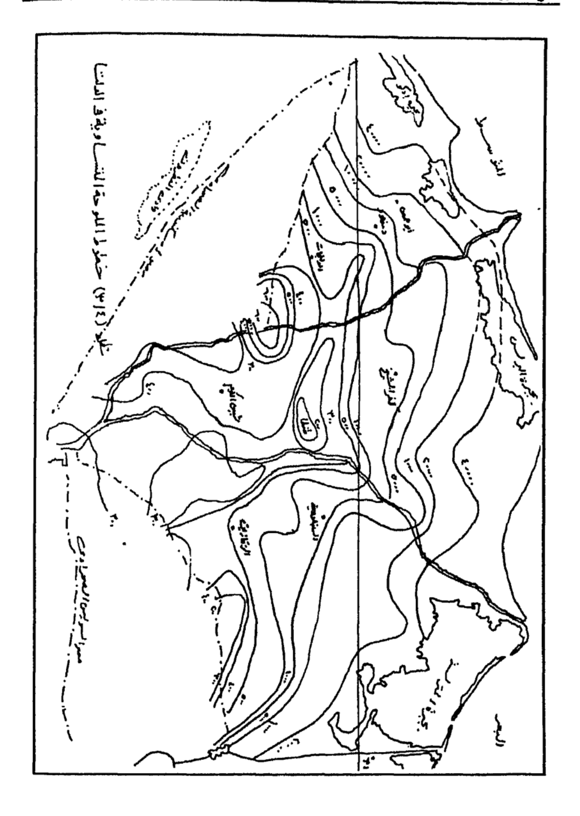
المياه الجوفية فى خزان جوفى المغره أساساً مياه طبيعية قديمة مع تسرب قليل وتغذية على الحدود مع خزان جوفى الدلتا .السعة التخزينية لخزان جوفى المغره هى حوالى ٨٠٠ مليار متر مكعب منها حوالى ١٠٠ مليار متر مكعب فقط مياه عذبة.

الخزان الجوفى الساحلى (Coastal Aquifer) :

يوجد الخزان الجوفى الساحلى فى شكل جيوب محلية منتشرة فى المناطق الساحلية لكل من البحرين الأبيض والأحمر ، فى المنطقة الغربية الساحلية شكل(٥-٣) تتكون التربة من الحجر الجيرى يعلوه طبقة من الحجر الرملى . والقاعدة من الحجر الجيرى الصلب . السمك الكلى للطبقة الحاملة للمياه هو حوالى ٤٠ متر .المياه الجوفية عموماً تكون فى شكل عدسات سابحة فوق مياه البحر .تتوقف التغذية للخزان الجوفى على سقوط الأمطار المحلية والسحب يتم إما بالبخر أو بالتدفق إلى البحر وكذلك بواسطة الآبار الرومانية والسراديب (Gallaries) .السحب الكلى للمياه الجوفية بالآبار حوالى ٠,٨ مليون متر مكعب فى العام .فى المنطقة الساحلية لشمال سيناء يمكن التعرف على أربع خزانات جوفية (١) الخزان الجوفى الضحل للكثبان الرملية بطاقة

تخزين ٢ مليون متر مكعب ، (٢) خزان جوفى الغرين الطمى (Alluvial) فى دلتا وادى العــريش ولــه طاقـــة تخزين ١٠ مليون متر مكعب (٣) الخزان الجوفى من الحجر الجيرى وله طاقة تخزين ١٠ مليون متر مكعب (٤) خزان جوفى الرملى والزلطى ذو المـــياه المالحة أساساً . ويتم التغذية لهذه الخزانات أساساً من مياه الأمطار ، وصرف هذه الخزانات يتم خلال الصرف إلى البحر والبخر والآبار والقنوات . فى سيناء وفى وادى رفـــت حوالى ٦٠٠٠ كيلو متر مربع التربة من الحجر الرملى والحجر الرملى النوبى . المياه الجوفية عموماً مياه مملحة (Brakish) . التغذية من مياه الأمطار حوالى ١٠٠ مليون متر مكعب فى العام .

فى المنطقة الساحلية غرب خليج السويس (٤٠٠٠ كيلو متر مربع) التربة من الحجـــر الـــرملى الـــنوبى والتغذية من مياه الأمطار والصرف أساسا باصطياد المياه الجوفـــية (abstraction) حوالـــى مليون متر مكعب فى العام . وفى المنطقة الساحلية للـــبحر الأحمـــر حوالـــى ٥٠٠٠ كيلو متر مربع شكل (٧) التربة من الحجر الجيرى والسطح العلوى مفتت التغذية أساساً من مياه الأمطار (جبل علبه) والتى تقدر بحوالى مليون متر مكعب فى العام . والصرف فى شكل تصرف إلى البحر أو الضخ .



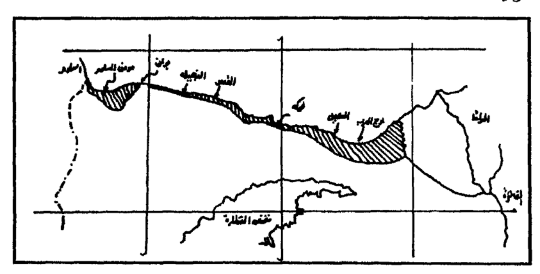
شكل (٤/٣) خطوط الملوحة النسبية في الدلتا

خزان جوفى الكربونات :

تغطـــى الكـــربونات أكثر من ٥٠% من المساحة السطحية للصحراء الشرقية والغربـــية، مع الوجود فى بعض الأماكن القليلة فى سيناء . ويتخلل مقطع الكربونات بطبقات من المحار والحجر الصلب (Flint Beds) . يكثر بهذه التكوينات الشقوق ولذلك تتكون العيون . لم يتم حتى الآن استكشاف خزان جوفى الكربونات .

خزان جوفى الصخور الصلبة :

توجد الصخور الصلبة فقط فى جنوب سيناء ومنطقة البحر الأحمر . كما يوجد صخور مشتتة على سواحل بحيرة السد العالى ، الجزء الجنوبى من الصحراء الغربية . أما فى المناطق تحت السطحية قد سجل وجود الصخور الصلبة فى أماكن مختلفة . المـــيل السطحى فى اتجاه الشمال وتقطعة طبقات أخرى . الصخور الصلبة تشمل كل أنـــواع الصـــخور النارية والتحويلية . نظراً لعدم توفر الاستكشافات فإن المعلومات المتوفرة عن الصخور الصلبة قليلة جداً . ولكن يمكن اصطياد حوالى ١٠٠ مليون متر مكعب من الصخور الصلبة فى جنوب سيناء . وتوجد احتمالات أخرى فى الصحراء الشرقية .



شكل (٥-٣) الخزان الجوفى للساحل الشمالى الغربى

نوعية المياه الجوفية وتلوثها بمناطق الإطماء والتخوم :

التغير فى نوعية المياه الجوفية يكون نتيجة تأثيرات طبيعية أو بفعل الإنسان . المصـــدر الرئيســـى للمياه الجوفية هى الترسيبات والتدفق أسفل السطح . أثناء حركة المياه خلال التربة والمنطقة الغير مشبعة فإن مياه الأمطار تذيب المواد القابلة للإذابة أو تذيــبها بالــتفاعل الكيميائى . لذلك تتغير نوعية المياه طبقاً لهذه التفاعلات كما فى حالة التبادل الأيونى والاختزال وترسيب الأملاح . بمجرد الوصول إلى منطقة التشبع فإن المياه تنتشر وتتحرك طبقاً للتدرج الهيدروليكى . المياه فى الخزان الجوفى تستمر فـــى إزابة الأملاح التى تلتصق بها . لذلك فإن تركيز المياه يزداد عما كان عليه فى مــنطقة الشــحن . ولهــذا فــإن اتجاه تدفق المياه الجوفية يكون عموماً فى اتجاهات المساحات ذات الأملاح الكلية المذابة العالية . ولكن هذا التغير غير ثابت وقتياً ومكانياً . التغــيرات المحلية فى جيولوجية التربة والأنشطة بفعل الإنسان تجعل معدل ودرجة التغير فى نوعية المياه كبيرة جداً .

بجانــب التأثيرات الطبيعية للمناخ الهيدروليجى فإن الأنشطة البشرية لها كذلك آثارهــا الواضــحة علــى نوعية المياه . الاستخدام وإعادة استخدام المياه للأغراض المنزلــية والصناعية والزراعية تسبب الصرف للمخلفات السائلة والصلبة فى المناخ الهيدرولــيجى بمـــا يؤثــر على نوعية كلاً من المياه السطحية والجوفية والتى تتغير باســتمرار بســبب التغذية للخزانات الجوفية بالمياه العذبة والمعاد استخدامها (وهذه تشــمل مــياه الرى وتسرب مياه الصرف) . فى تجمعات المياه الضخمة فإن الجزء العلــوى مــن حــوض المـــاء يكون عموماً ذو طبيعة كيميائية لبيكربونات الكالسيوم والأمــلاح الكلــية المذابة تكون منخفضة . مع تحرك المياه إلى أسفل خلال الخزان الجوفى مستقبلاً المياه المعاد استخدامها ومياه الصرف ، تتغير الطبيعة الكيميائية إلى كلوريــد الصوديوم . وذلك بسبب أن عمليات الإذابة تعمل على زيادة تركيز الأملاح الأكــثر إذابــة مــثل كلوريــد الصـــوديوم ، وهــذا يسبب التغير فى النسبة الأيونية والخصائص الكيميائية للمياه .

نوعية المياه الجوفية فى مناطق الإطماء النيلى والأجناب :

فـــى وادى النـــيل لا يوجـــد إطار إقليمى لنوعية المياه . الأملاح الكلية المذابة تتراوح قيمتها ما بين ٥٠٠ إلى ١٧٠٠ جزء فى المليون . فى أماكن التسرب السطحى للمياه وحيث لا يوجد صرف لوحظ زيادة الملوحة إلى ٢٠٠٠ جزء فى المليون . فى دلـــتا النيل لوحظ زيادة تركيز الأملاح فى المياه العذبة من الجنوب إلى الشمال . كما لوحـــظ كذلك زيادة الملوحة بالتدريج بالنسبة للعمق . عموماً فإن أصل المياه الجوفية هـــو النيل (مياه الرى) التى تتسرب خلال التربة . يحدث فى تركيز الأيونات بسبب البخر والتفاعلات الكيميائية فى أجزاء التربة المشبعة والغير مشبعة .

- أنواع المياه الجوفية فى الدلتا .

الكيماويات فى المياه الجوفية فى دلتا النيل والأجناب .

أهم المجموعات هى ($Ca + Mg$) و ($Na + K + NH_4$) للكاتأيونات و (HCO^+_3 ، Co_3) ، ($So4 + No3 + No_2$) ، Cl للآن أيونات . يمكن استبدال الآن أيونات.

تتقسم المياه الجوفية إلى ثلاث مستويات (+ ، صفر ، −) تبين زيادة ، اتزان، نقـــص فى ($Na + K + Mg$) . النقص يبين تسرب مياه البحر بينما الزيادة تبين التغذية من مياه النيل العذبة (الرى) .

فى الجنوب نوع المياه الجوفية المحتوية على بيكربونات الكالسيوم وبيكربونات الماغنســـيوم يوضح التغذية المستمرة من مياه النيل إلى الخزان الجوفى . فى الشمال يوضح بيكربونات الصوديوم ومخلوط الصوديوم (+) انخفاض التغذية من مياه النيل . هذه المنطقة وشمالها وشرقها وغربها كلوريد الصوديوم بها (+) ، (صفر) فى المياه الجوفـــية . قـــرب الســـاحل فإن كلوريد الصوديوم (−) بما يوضح أن المياه الجوفية اســـتبدلت بمياه البحر . حالة كلوريد الصوديوم (−) فى المياه الجوفية توجد كذلك فى شـــرق القاهرة بسبب التغذية من الخزانات الجوفية الثلاثية العميقة . فى الوادى توجد أنواع مشابهة من المياه الجوفية باستثناء مياه البحر .

تلوث المياه الجوفية :

العوامـــل العامـــة المؤثرة على تلوث المياه الجوفية فى المساحة الفيضية للنيل والأجـــناب الصـــحراوية هـــى (١) المؤثرات على المياه الجوفية (٢) الأنشطة بفعل الإنسان .

المؤثرات على المياه الجوفية (Ground Water Vulnerability) :

تعتبر العناصر الآتية هامة فى التأثير على المياه الجوفية :

(١) الـــبخر والتســـرب : الـــتغذية للخزانات الجوفية يكون نتيجة التسرب (بالنسبة للخـــزانات الجوفية الشاطئية) و/أو الرى .وعلى الجانب الآخر فإن بخر المياه ينتج عنه تركيز الأملاح لذلك فإن نوعية المياه المتسربة تكون أكثر تركيزاً .

(٢) ســـمك وطبـــيعة الطبقة الطفلية العليا : سمك طبقة الطمى فى المساحة الفيضية تـــتراوح ما بين صفر على الجناب إلى حوالى ٢٠ متر فى الوسط . وقد تختلط هذه الطبقة الطفلية بالرمال وتقوم هذه الطبقة بدور هام فى حماية المياه الجوفية وذلك بادمصاص المواد العضوية والتبادل الكاتأيونى .

(٣) التدفق الرأسى للمياه الجوفية : يتوقف التلوث للمياه الجوفية على التدفق الرأسى كماً ونوعاً . يستحيل حدوث التلوث للمياه الجوفية عند تدفقها لأعلا كما فى حالة شمال الدلتا والأجناب ، ويزداد التلوث عند التدفق لأسفل .

(٤) الـــتدفق الأفقـــى للمياه الجوفية : التدفق الأفقى للمياه الجوفية فى الطمى يكون عموماً ٥٠ متر فى العام . يتوقف التدفق الأفقى للملوثات على التجانس المحلى للـــتربة ، حـــركة المياه الجوفية ووجود الطبقات ذات قدرة التوصيل العالية . وعلـــى الجانـــب الآخـــر فإن التكوينات منخفضة النفاذية والقريبة من مصادر التلوث قد تحتوى على تركيزات محلية عالية بسبب التشتت .

الشـــكل (٣-٣) يبيـــن خريطة للدلتا والأجناب مصغرة من خريطة ١ : نصف ملـــيون . فـــى مـــنطقة الدلـــتا يمكن تمييز أربعة مساحات (١) المنطقة الصحراوية المستصـــلحة حيث المياه الجوفية ما بين المتوسطة والعالية بسبب وجود الرمال ذات

سـرعة التسرب العالية وقدرة ادمصاص منخفضة ، وإن كانت المياه الجوفية عميقة نسـبياً . (٢) المسـاحة التقلـيدية المـنزرعة حيث المياه الجوفية ما بين المتوسطة والمنخفضة بسبب وجود غطاء طفلى .

(٣) المنطقة المتوسطة ما بين الأراضى القديمة والمساحات المستصلحة حيث إمكانية وجـود المـياه الجوفـية عالية بسبب وجود التربة الرملية .وضحالة خط المياه الاستاتيكى .

(٤) الجـزء الشمالى حيث إمكانية وجود مياه جوفية منخفضة جداً بسبب وجود غطاء من الطمى العلوى بالإضافة إلى التدفق العلوى للمياه .

يمكن كذلك دراسة إمكانيات المياه الجوفية فى الوادى وتقسيمها بطريقة مشابهة طبقاً للثلاث حالات السابقة فقط حيث لا يوجد تدفق علوى .

الأنشطة بفعل الإنسان :

الأنشـطة بفعل الإنسان المسببة لتلوث المياه الجوفية هى مياه الصرف الصحى والصـرف الزراعى والصرف الصناعى هذا بالإضافة إلى أن المياه الجوفية نفسها قد تسبب تلوث للمجال المحيط كما فى حالة شمال الدلتا حيث تتسرب المياه الجوفية إلى أعلا نحو التربة وإلى شبكات الرى والصرف .

الـزراعة : معظم أراضى المساحة الفيضية للنيل بها أنشطة زراعية . يستخدم السماد النيتروجينى أساساً لزراعة الأرز ، القمح ، الذرة . محاصيل رئيسية أخرى مثل القطن والبرسيم تستخدم السماد النيتروجينى بكميات قليلة . المبيدات هى مصادر أخرى للتلوث . الزائد عن استخدام النبات من السماد والمبيدات يتسرب مع مياه الـرى حيث يصل إلى الخزان الجوفى عندما تسمح طاقة التسرب للتربة .لذلك فـإن تأثـير الأسمدة والمبيدات التى تصل إلى المياه الجوفية تتوقف على عدة عوامل وهى (١) ظروف التعرض للمياه الجوفية (٢) وجود نظام صرف (٣) نـوع المبـيدات والأسـمدة المستخدمة . مصادر التلوث الزراعى له خاصية الانتشـار ونظـراً للانتشار العالى للنترات فإنها تعتبر المصدر الرئيسى لتلوث

المياه الجوفية .

الصـــرف الصـــحى : ويكون التلوث من مياه الصرف الصحى إما نتيجة التسرب من الشـــبكة أو من خزانات التحليل أو من نتيجة الردم الصحى للحمأة أو الصرف العشوائى للحماة أو لمياه الصرف الصحى . ويتوقف التلوث من هذه المصادر على حجم مياه الصرف والتى يتحدد بها معدل التسرب . مياه الصرف الصحى قـــد تحتوى على كميات من النيتروجين فى شكل نشادر ونيتروجين عضوى . وقد يوجد كذلك الفوسفات طبقاً لظروف استخدام مصادره من المنظفات وخلافه

الصـــرف الصـــناعى : تصل ملوثات الصرف الصناعى إلى الخزانات الجوفية طبقاً للـــدورة الهيدرولوجية وظروف الخزان الجوفى حيث المصدر هو المسطحات المائية التى تصرف إليها مياه الصرف الصناعى . ولذلك قد يكون التلوث حاد فى مكان ما ولكنه ليس على كل الخزان الجوفى كما فى حالة تاثير مياه الرى .

تنمية المياه الجوفية .

تنمـــية المياه الجوفية لمختلف الأغراض قد يحدث عدم اتزان كيماوى للمياه الجوفية . أثـــناء الضخ تحدث تغيرات مختلفة قد ينتج عنها دخول مياه ذات نوعية مختلفة . فى المناطق الساحلية لخزان جوفى الدلتا كمثال ، فإن الضخ يغير من حالة الاتزان للمياه العذبة – المالحة عند سطح التلامس بينهما بما ينتج عنه دخول المياه المالحة أو صعود المياه المالحة (upcoming) إلى سطح الأرض . لذلك فإن تنمية المياه الجوفية تكون فقط فـــى المساحات حيث السمك الكافى من المياه العذبة . مثال آخر عند الضخ قريباً من الحـــدود مـــع الحجـــر الجيرى عندئذ تدخل المياه من الكسور فى الحجر الجيرى إلى الخـــزان الجوفى، وهذا يؤثر على نوعية المياه إذا كانت هذه المياه الداخلة ذات نوعية متدنية وسمك الخزان الجوفى صغير نسبياً .

الخواص الكيميائية .

خصائص المواد الكيماوية تؤثر كثيراً على تحركها خلال التربة . حيث الوزن

الـــنوعى المنخفض مثل الزيوت المعدنية والمواد الأروماتية (الوزن النوعى من ٠,٩ إلـــى ٠,٩٥) تظـــل فوق خط المياه . أما المواد الثقيلة مثل المواد العضوية المكلورة (الـــوزن الـــنوعى ١,٥) قـــد تصـــل إلـــى أعماق التربة بالتسرب الرأسى . يعتبر الادمصـــــاص هـــو العامل المنظم لحركة الملوثات فى التربة . ويتحدد تأثيرها بإذابة الملوثـــات فى الماء ومحتوى التربة من المواد العضوية . مجموعة الكيماويات طبقاً لادمصاصـــها بالرمال والطمى كما فى الجدول.الحركة النسبية للكيماويات فى التربة جدول (٢-٣)

الكيماويات	الحركة فى التربة	
	رمل	طمى
الكلوريدات والنترات	***	**
الهيدروكربونات المكلورة	**	*
العناصر الثقيلة (زنك، نيكل ، ألومونيوم)	*	صفر
مبيدات الحشائش	*	—
عناصر ثقيلة (زئبق ، رصاص)	صفر	— —
مبيدات الحشرات	صفر	— —

المعـــادن الثقـــيلة مـــثل الرصاص والنحاس ومبيدات الحشرات المكلورة عادةً تحتجز بواسطة الطمى والتربة العلوية . الهيدروكربونات المكلورة مثل الإثيلين تكون أكـــثر إذابـــة ويحدث لها ادمصاص منخفض فى التربة . بعض الكيماويات تتحلل فى منطقة عدم التشبع وقريباً من خط المياه . فى المياه الجوفية يعتبر التحلل بطيء جداً . تحلـــل المـــواد الغير كيماوية يكون بنسبة عالية لوجود ثانى أكسيد الكربون وارتفاع درجة الحرارة . تتحول النشادر جزئياً إلى نترات .

فـــى مـــنطقة الدلـــتا العناصـــر الرئيسية للدراسة فى الاستكشاف للملوثات هى مركبات النيتروجين ، الكولوفورم الكلى ، المبيدات والحديد والمنجنيز . وعموماً فإن تركـــيز النـــترات يـــتراوح ما بين ٧٠ إلى ١٠٠ ملليجرام / لتر ويتوقع أن يزداد مع

الوقـت مـع زيادة استخدام الأسمدة . ولكن التركيز للنترات يقل مع العمق . الحديد والمنجنـيز الناتج من الطفل والطمى يوجد بتركيزات منخفضة فى مساحات النيل عند أعماق كبيرة . الملوثات الأخرى من الكلوفورم الغائطى (أكثر من ١٠٠ فى ١٠٠ سم٣) يوجد على أعماق منخفضة . أملاح الفوسفات تحتجز بواسطة طبقات التربة . أمـا المياه عالية الملوحة أكثر من ١٥٠٠ جزء فى المليون توجد فى شمال دلتا النيل بسبب تسرب مياه البحر ، كما يوجد فى الأجناب للدلتا والوادى بسبب عودة التدفق من الرى مع صغر سمك الخزانات الجوفية .

الفصل الرابع

كيمياء المياه الجوفية

٤

كيمياء المياه الجوفية

كثير من العاملين فى تصميم وتنفيذ الآبار ليس لديهم ما يكفى عن كيمياء المياه نظــراً لاهتمامهم بالآبار وإنتاجيتها . وذلك رغم أن نوعية المياه قد تكون ذات أهمية عن حجم الإنتاج من المياه ، هذا بالإضافة إلى التغيرات الكيميائية التى تحدث فى مياه التربة نتيجة قدرة المياه على إذابة الأملاح المعدنية وكذلك بطء تسرب المياه إلى المياه الجوفــية . وهــذان العاملان يزيدان من ملوحة المياه . ولهذا فإن المياه الجوفية قد تحــتاج إلى معالجة لإزالة أو لاستبدال الأملاح المذابة قبل الاستخدام المعين . بعض هذه الأملاح المذابة قد يكون مفيداً وبعضها يسبب مشاكل نحو المذاق والرائحة . المياه الجوفــية عموماً خالية من المواد الصلبة العالقة كما أنها من الناحية العملية لا تحتوى علــى مــواد عضوية أو بكتيريا وذلك مقارنة بالمياه السطحية التى تحتوى على مواد صلبة عالقة وكائنات جرثومية . ولهذا فإن المياه الجوفية تعتبر صحية وإن كانت نسبة الأملاح المذابة عالية .

لتقييم الخصائص الكيميائية للمياه الجوفية تتم التحاليل المعملية بالنسبة للعسر ، التوصيل الكهربى ، تركيز أيون الهيدروجين (PH value) ، ثانى أكسيد الكربون الحر ، الأملاح الكلية المذابة .

أصل المكونات الكيماوية للمياه الجوفية :

توزيع العناصر فى القشرة الأرضية كما فى الجدول (١-٤)

جدول (١-٤) توزيع العناصر فى القشرة الأرضية مقيمة كأكاسيد :

المادة	متوسط النسبة فى القشرة الأرضية بالوزن
السيليكا (SiO_2)	٦٣,٥
الألومنيا (Al_2O_3)	١٥,٩
الكالسيوم (CaO)	٤,٩
صوديوم (Na_2O)	٣,٣
بوتاسيوم (K_2O)	٣,٣

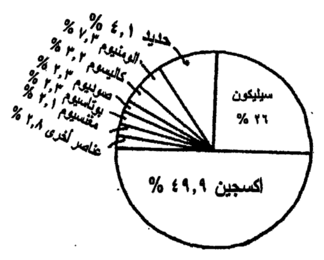
المادة	متوسط النسبة فى القشرة الأرضية بالوزن
حديد (F_eO)	٣,٣
حديد ($F_{e2}O_3$)	٢,٩
ماغنسيوم (M_gO)	٢,٩

حوالـــى ٩٥% مـــن القشرة الأرضية بالحجم يتكون من السيليكات التى تتكون أساســـاً من أيون السيليكا الرباعى (SiO4) والذى يرتبط بها كثيراً من الكاتأيونات مثل الكالســـيوم و الصـــوديوم و الماغنســـيوم . معظـــم أيونـــات الكالسيوم والماغنسيوم والبيكربونات فى المياه الجوفية تكون نتيجة إذابة الصخور الكربونية ذات الأصل من الصخور النارية .

السيليكون والأكسجين يكونا حوالى ٧٥% من القشرة الأرضية شكل (١-٤) . المـــواد الشائعة فى القشرة الأرضية هى أكاسيد السيليكون والألومنيوم والحديد وهذه قلـــيلة الإذابـــة فـــى الماء . ولكن الكاتأيونات من الصوديوم والكالسيوم والماغنسيوم والبوتاسيوم التى تتحد مع هذه الأكاسيد قابلة للذوبان فى الماء وهى موجودة فى معظم مـــوارد المـــياه العذبة . الكاتأيونات والآن أيونات فى المياه الجوفية فى الحالة العادية كالآتى :

الكاتأيونات	الآن أيونات
كالسيوم (Ca^{++})	بيكربونات HCO_3^-
ماغنسيوم (Mg^{++})	كبريتات SO_4''
صوديوم (Na^+)	كلوريدات CL^-
بوتاسيوم (K^+)	

زيـــادة درجـــة حرارة الماء تزيد إذابة معظم الأملاح المعدنية . تزداد درجة حرارة المياه الجوفية بمعدل ٠,٦°م لكل ٣٠ متر من العمق وذلك بعد حوالى ١٠ متر تقريـــباً من سطح الأرض . لذلك فإن المياه الجوفية على أعماق كبيرة تكون ملوحتها كبيرة .



شكل (١-٤) توزيع العناصر فى القشرة الأرضية

وحدات القياس : Units Of Measure

وحدات القياس الأمريكية للأملاح المذابة تقاس بالجزء فى المليون بالوزن . أى جزء بالوزن من المادة فى مليون جزء بالوزن من الماء . ويشار إلى تركيز الأملاح بـالأملاح الكلية المذابة . (TDS - Total Dissolved Solids) . وقد تقاس الأملاح المذابة بالكـيلو جرام فى المتر المكعب أو بالمليجرام فى اللتر . عند زيادة درجة الحرارة أو الملوحـة لا يتسـاوى القياس جزء فى المليون مع مليجرام فى اللتر بما يتطلب عمل التصـحيح بالنسـبة للكثافة ولكن عند ملوحة أقل من ١٠٠٠٠ مليجرام / لتر ودرجة حرارة أقل من ١٠٠° م فإن مليجرام / لتر يتساوى مع جزء من المليون .

لتعيين المكافئ من الجزء فى المليون لعينة مياه كمثال .

أ - لتحويل ٦٣ مليجرام / لتر من الماغنسيوم (Mg^{++}) إلى جزء فى المليون :

الوزن الذرى للماغنسيوم = ٢٤,٣٢

التكافؤ = ٢

الوزن المكافئ = $\frac{24.32}{2}$ = ١٢,١٦

∴ ٦٣ مليجرام / لتر من الماغنسيوم = $\frac{63}{12.16}$ = ٥,١٩ جزء فى المليون .

ب - لتحويل ٥ مليجرام / لتر من النترات No_3' إلى جزء فى المليون .

الوزن الذرى للنيتروجين (N) = ١٤

الوزن الذرى للأكسجين (O) = ١٦,٠٠

الوزن الجزيئى للنترات (No_3') = ٦٢

التكافؤ = ١

الوزن المكافئ = $\frac{62}{1}$ = ٦٢

٥ مليجرام / لتر No_3' = $\frac{5}{62}$ = ٠,٠٨ جزء فى المليون .

جـــ - لمـراجعة التحالـيل الآتـية . ضـع المكافئ جزء فى المليون للأن أيونات وللكاتأيونات ثم إجمع كل عمود لحساب المكافئ جزء فى المليون لعينة مياه .

الأيون	مليجرام / لتر	المكافئ مليجرام / لتر	
		كاتأيونات	آن أيون
Ca^{++}	٤٢	٢,١	
Mg^{++}	٢٧	٢,٢٢	
Hco_3'	١٩٦		٣,٢١
So_4''	١٥		٠,٣١
Cl'	٧٢		٢,٠٣
No_3'	٥	----	٠,٠٨
الإجمالى	----	٤,٣	٥,٦٣

بعض المكونات الهامة للماء ليس لها شحنة كهربية وهذه تشمل المواد العضوية والهلامــية (الــتى لا ترسب) و السيليكا . كثير من المواد العضوية يذوب فى الماء ولكن التعرف عليها صعب . المياه المحتوية على تركيزات عالية من المواد العضوية تعطى لطع أو بقع بنى غامق أو لون أحمر طوبى . كثير من المعادن الثقيلة يوجد فى الماء فى شكل هلامى . الحديد والمنجنيز كمثال يوجد فى الشكل المتأين أو فى الشكل الهلامــى طــبقاً لمحتوى الماء من الأكسجين . السيليكا فى شكل سيليكات الصوديوم تكون مادة هلامية يمكن إزالتها بالترشيح أو بالترويب .

الأجهزة الرئيسية المختلفة أو الطرق المستخدمة لقياس الأيونات فى المحلول ،

المــواد الصلبة (المواد الهلامية ، المواد العالقة) ، المواد العضوية الكلية ، الكائنات الدقيقة موضح كالآتى :

العناصر : الإدمصاص الأيونى والأسبكتروفوتوميتر .

الأيونات : قطب الأيون المعين .

مواد عضوية ومعدنية : الطرق الكيميائية للتحاليل .

التحاليل الغير عضوية : الإنبعاث الضوئى للإسبكتروجراف .

التحاليل العضوية : تحاليل الكربون الكلى .

فصل المواد العضوية : تكنولوجيا الكروماتوجرافى .

التعرف على المواد العضوية : الإدمصاص بالإسبكتروجرافى .

بعض الخواص الهامة للمياه :

العسر Hardness :

التعبــير (عسر المياه) يعتبر واحد من أقدم الكلمات التى وصفت بها المياه . حيــث كان سائداً استخدام الصابون ، حيث لوحظ أنه طبقاً لمصدر المياه تختلف كمية الصـــابون لإنتاج الرغاوى . الماء الذى يحتاج لصابون أكثر سمى الماء العسر ولذلك فــإن مياه الأمطار تحتاج إلى صابون أقل لإنتاج الرغاوى ولذلك سمى بالماء اليسر . ولذلـــك فإنه فى حالة المياه العسر لا يتم إنتاج الرغاوى حتى يستنفذ كل أملاح العسر الموجــودة فــى الماء باتحادها مع الصابون . تظل الأملاح التى استنفذت بالصابون كخبــث غــير مذاب . سبب العسر فى المياه أساساً هو أيونات الكالسيوم والمغنسيوم وذلــك رغم أن أملاح الحديد والمنجنيز تستهلك الصابون . مصدر أيونات الكالسيوم والمغنســيوم هــو مركــبات الكربونات والبيكربونات للكالسيوم والمغنسيوم ، وكذلك الكبريتات . معظم أيونات الكربونات والبيكربونات فى المياه الجوفية توجد فى التربة نتــيجة تحلــل المــواد العضوية من النباتات والكائنات الدقيقة وإذابة صخور الحجر الجيرى والدولوميت .

ينقســم عسر المياه إلى نوعين وهى عسر الكربونات وعسر غير الكربونات .

يشـــمل عسر الكربونات أملاح الكالسيوم والمغنسيوم المرتبطة بالبيكربونات مع وجود كمية صغيرة من الكربونات . وعسر (البيكربونات كان يسمى بالعسر المؤقت حيث يمكن إزالته بالغليان ، حيث ترسب أملاح كربونات الكالسيوم والمغنسيوم والكبريتات المعدنية . ويقيم العسر عادةً بكربونات الكالسيوم .

عســـر غـــير الكربونات هو الفرق بين العسر الكلى وعسر الكربونات . وهذا العســـر بســـبب كمـــيات الكالسيوم والمغنسيوم التى تتحد عادةً مع أيونات الكبريتات والكلوريـــد والنـــترات . بالإضافة إلى العسر لوجود كميات ضئيلة من الحديد . عسر الغير كربونات لا يزال بالغليان ولذلك يسمى العسر المستديم .

المياه ذات عسر أقل من ٥٠ ملجرام / لتر تعتبر مياه يسر . العسر من ٥٠ إلى ١٥٠ ملجـــرام / لتر غير مرفوض فى معظم الحالات ، يزداد استهلاك الصابون مع زيادة أملاح العسر . المياه ذات عسر من ٥٠ إلى ١٥٠ ملجرام / لتر تحدث ترسيبات فـــى غلايات البخار . عند إزالة عسر المياه ذات تركيز عسر ١٥٠-٢٠٠ ملجرام / لـــتر يـــتم معالجـــتها لتخفـــيض العسر إلى ٨٥ ملجرام / لتر لتكون مناسبة للشرب والاستخدام المنزلى.

عـــند تعـــرض المـــياه العسر إلى تغيرات فى الضغط ودرجة الحرارة تحدث ترســـيبات من أملاح الكالسيوم والمغنسيوم . ويرجع ذلك إلى التغير فى اتزان الإذابة والـــتى ينـــتج عـــنها الكـــربونات الغير مذابة وفى بعض الحالات الكبريتات .ظاهرة الرواســـب فـــى إناء الشاى هى ظاهرة عادية لكل شخص . ولكن الترسيبات فى حالة المـــبخرات الضـــخمة مثل أبراج التبريد وفى ظروف معينة فى مياه الآبار يمكن أن تسبب تلف كامل . وفيما يلى شرح مبسط للترسيبات بسبب التغير فى الضغط ودرجة الحرارة .

ثـــانى أكسيد الكربون الذى رباطه ضعيف مع أيون البيكربونات يمكن انفصاله بســـهولة كغـــاز بالتســـخين للماء .فى هذه العملية يتحول جزء من البيكربونات إلى الكربونات الذى يتحد مع أيونات الكالسيوم والمغنسيوم مكوناً أملاح كربونات الكالسيوم والمغنســـيوم الـــتى ترسب مكونة قشور (Scales) لعدم ذوبانها فى الماء إلا فى حدود

.حيــث تــتكون ترســيبات كربونات الكالسيوم أولاً نظراً لقلة ذوبانها عن كربونات المغنسيوم . في حالة عدم وجود ثانى أكسيد الكربون يذوب فى الماء فقط ١٤ ملجرام / لتر من كربونات الكالسيوم وفى نفس الظروف تكون إذابة كربونات المغنسيوم أكثر من خمسة أضعاف كربونات الكالسيوم حيث تصل إلى ٧٠ ملجرام / لتر . أى أنه عند غلى الماء يكون إجمالى عسر الماء هو ١٤+٧٠=٨٤ ملجرام / لتر وهو الحد المقبول لاستخدام المياه لأغراض الشرب والاستخدام المنزلى (٨٥ ملجرام / لتر) . انخفاض الضغط فى التربة الحاملة للمياه من الحجر الجيرى أو الدولوميت يسبب انفصال غاز ثانى أكسيد الكربون من أملاح البيكربونات ويحولها إلى أملاح الكربونات التى ترسب فــى مســام التربة حول المصفاة ولمسافة من المصفاة من ١متر حتى ٢ متر . يرجع انفصال غاز ثانى أكسيد الكربون إلى انخفاض الضغط كلما اقتربت المياه فى الخزان الجوفى من المصفاة حيث تزداد سرعتها وبالتالى ينخفض الضغط طبقاً لمعادلة برنولى والذى يؤدى إلى انفصال ثانى أكسيد الكربون .

التوصيل الكهربى النوعى :

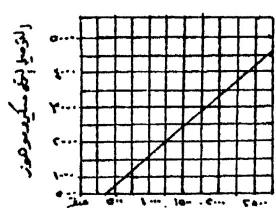
التوصيل الكهربى النوعى لمادة هو قدرتها على توصيل التيار الكهربى . يسير التــيار فى الماء المحتوى على أيونات أو أملاح معدنية وذلك لأن الأيونات وتتحرك نحو مصدر التيار ليحدث لها تعادل . فمثلاً عند إذابة كلوريد الصوديوم فى الماء فإن أيونات الصوديوم (Na+) يكون موجب الشحنة وأيون الكلور (CL`) يكون سالب الشحنة .فــى حالــة بــث تيار كهربى فى المحلول من خلال القطبين فإن أيونات الصوديوم تتحرك نحو القطب السالب وأيونات الكلور تتحرك نحو القطب الموجب . ولذلك فإن الآن أيونـــات (سالبة الشحنة) تتحرك نحو القطب الموجب (الآنود) بينما الكاتأيونات (موجبة الشحنة) تنجذب نحو القطب السالب (الكاثود) .

التوصـــيل الكهـــربى الـــنوعى يعرف بالتوصيل لسنتيمتر من أى مادة مقارنة بالتوصـــيل لـــنفس الحجـــم من الماء (كيميائياً الماء النقىله توصيل كهربى ضعيف ويعتبر عازل جيد) . تزداد قوة التوصيل الكهربى للماء عند وجود كمية صغيرة جداً

من الأملاح.

وحدات قياس التوصيل الكهربى هى عكس الأوم (Mohs) . فى المحاليل يتغير التوصـــيل النوعى تبعاً لتغير تركيز الأملاح فى الماء . وكذلك فإن التوصيل النوعى لنفس التركيز لمحاليل مختلفة كذلك يختلف . فمثلاً محلول به ١٠٠ ملجرام / لتر من كلوريـــد الصوديوم يعطى توصيل نوعى أكثر من محلول به ١٠٠ ملجرام / لتر من بيكربونات الكالسيوم.

الشــكل (٢-٤) يوضـــح العلاقـــة القوية بين الأملاح الكلية المذابة والتوصيل النوعى . ولهذا يمكن تعيين التركيز كنتيجة لقياس التوصيل الكهربى . فى معظم المياه الجوفـــية عـــند ضرب التوصيل الكهربى النوعى فى المعامل ٠,٥٥ إلى ٠,٦٥ يمكن تقدير المواد المذابة. فى الجدول (٢-٤) قيم التوصيل النوعى مضروبة فى ٠,٥٥ إلى ٠,٦٥ تعطـــى نركيز الأملاح الكلية المذابة . معامل الضرب فى المياه المالحة يكون عادةً أعلا من ٠,٧٥ وبالنسبة للمياه الحامضية يكون أقل كثيراً .تعيين الأملاح المذابة بقـــياس التوصـــيل الكهـــربى يعتبر مناسب جداً حيث يمكن قياس التوصيل الكهربى ببساطة شديدة فى الموقع . الشكل (٢-٤) يوضح ثبات النسبة بين تركيز المواد المذابة والتوصيل النوعى .



شكل (٢-٤) مقارنة التركيز للمواد الصلبة المذابة مع التوصيل النوعى يوضح النسبة الثابتة بينهما

تركيز أيون الهيدروجين (PH) :

رغم أن جزئيات الماء مستقرة كيميائيا إلى حد ما ، إلا أنها تميل إلى الانقسام أو

الــتحلل إلى الأجزاء المكونة لها وهى أيونات الهيدروجين (H^+) وأيونات الإيدروكسيد (OH^-) .

$$H_2O(HOH) = H^+ + OH^-$$

يكــون المــاء إمــا حامضى أو قلوى (قاعدى) طبقاً للتركيز النسبى لأيونات الهيدروجيــن ، الــتى تســبب الحموضة للماء فى حالة وجودها به . قدرة الماء على خفض أيونات الهيدروجين أى معادلة الحامض تسمى القلوية . لنفهم كيمياء الماء يلزم معــرفة الخصائص الحامضية - القلوية للماء . يعبر عن تركيز أيون الهيدروجين فى المــاء بالمصطلــح (PH) أو الرقــم الهيدروجينى . الرقــم الهيدروجينى (PH value) هــى اللوغاريتم لمعكوس تركيز أيون الهيدروجين .

$$pH = \log \frac{1}{H^+}$$

وتستخدم هذه المعادلة بالتحديد لأن العدد الحقيقى للأيونات صغير جداً . مجال الــرقم الهيدروجينى هو من صفر إلى ١٤ ، الرقم الهيدروجينى ٧ عند درجة حرارة ٢٥°م يبين حالة تعادل للمحلول حيث تركيز كلاً من أيونات H^+ وأيونات OH^- متساويان بيــنما الرقم الهيدروجينى أكبر من ٧ يبين أن المحلول قلوى .تؤثر درجة الحرارة فى تحديــد الرقم الهيدروجينى الذى يحدث عنده التعالدل . فمثلاً عند درجة حرارة صفر درجــة مــئوية يكون تركيز الأيونات السالبة والموجبة متساوى عند رقم هيدروجينى ٧٠٥٣ درجــة مــئوية بينما عند درجة حرارة ٥٠°م يحدث التعادل عند رقم ٦,٦٥ . الرقم الهيدروجينى لبعض السوائل كما فى الجدول (٢-٤)

جدول (٢-٤) الرقم الهيدروجينى لبعض السوائل :

السائل	الرقم الهيدروجينى
عصير الليمون	٢,٤-٢,٢
الخل	٣
عصير طماطم	٣,٥
البيرة	٥-٤

السائل	الرقم الهيدروجينى
الجبن	٤,٨-٦,٤
اللبن	٦,٣-٦,٦
اللعاب	٦,٥-٧,٥
الدم البشرى	٧,٣-٧,٥
السيول	٤,٨-٨,٤
مياه البحر	٨,٣
مياه الشرب	٦,٥-٨

يوجـد بعض اللبس نحو التعبير " القلوية " وذلك لأن وجود القلوية لا يعنى أن الرقم الهيدروجينى للماء يجب أن يكون أكبر من قيمة التعادل ٧ . المياه الجوفية ذات الـرقم الهيدروجينى أقل من ٧ قد تظل تحتوى على أملاح التى تتعادل مع الأحماض ولذلـك قـد يكون لها بعض القلوية التي يمكن قياسها . ترجع القلوية لوجود أيونات الكـربونات والبـيكربونات بينما أيونات الكلوريد والنترات والكبريتات ليس لها تأثير علـى القلويـة . أيون الإيدروكسيد (OH^-) له تأثير على القلوية ولكن يندر وجوده فى المـياه الجوفية بكمية يعتد بها ، وقد يوجد أيون الإيدروكسيد فى المياه المعالجة وفى المياه الملتصقة بالخرسانة.

قـياس الرقم الهيدروجينى عادةً بواسطة جهاز مزود بالقطب المناسب ويسمى جهاز قياس الرقم الهيدروجينى (PH Meter) وله درجة دقة من ٠,٠١ إلى ٠,٠٥ وتوجد طـرق أخرى كثيرة لقياس الرقم الهيدروجينى منها ورق عباد الشمس ومواد كيماوية (Indicators) لإظهار حالة المحلول .

تغير محتوى المياه الجوفية من الأيونات خلال الوقت :

لوحـظ تغير كيميائى للمياه الجوفية خلال العمق فى الخزانات الرسوبية العميقة كالآتى :

. المـنطقة العلـيا : تكـون المياه ذات أملاح مذابة بنسبة منخفضة ونسبة عالية من

البــيكربونات (HCO_3^-) مع الحركة النشطة للمياه تزال الأملاح من الصخور بالمحلول (Leaching) .

. المــنطقة الوســطى : تتحرك المياه ببطء أكثر وتكتسب مواد صلبة مذابة ، ويزداد محتوى المياه من أيون الكبريتات .

. المــنطقة العمــيقة : حركة محدودة للمياه فى هذه المنطقة مما يجعل إذابة الأملاح المعدنية نشطة جداً حيث تزداد الأملاح المذابة وزيادة أيون الكلور (Cl^-) .

رغم أن هذا التحليل للمناطق يعتبر مبسطاً إلا أنه يبين التغيرات الكيماوية العامة التى تحدث أثناء تسرب المياه خلال التربة وخاصة فى حالة التربة الرسوبية .

مكونات المياه الجوفية :

تركيز الأملاح الكلية المذابة فى المياه الجوفية هو مؤشر لتحديد مدى ملاءمتها للاســتخدام . الاستخدام العام للمياه الجوفية هى إما للاستخدام المنزلى والشرب أو فى الزراعة أو فى الصناعة وتوليد الطاقة . المياه المحتوية على أكثر من ٥٠٠ ملجرام / لــتر من الأملاح الكلية المذابة عادة يحتوى على أملاح معدنية تعطيه مذاق واضح أو تجعله غير مناسب . الجدول التالى يوضح التقسيم النوعى للمياه الجوفية طبقاً للأملاح الكلية المذابة .

جدول(٣-٤) التقسيم النوعى للمياه الجوفية طبقاً للأملاح الكلية المذابة

نوعية المياه	الأملاح الكلية المذابة ملجرام / لتر
مياه عذبة	صفر ــ ١٠٠٠
مياه مملحة (Brakish)	١٠٠٠ ــ ١٠٠٠٠
مياه مالحة (Saline)	١٠٠٠٠ ــ ١٠٠٠٠٠
مياه عالية الملوحة (Brine)	أكثر من ١٠٠٠٠٠

الأمــلاح المعدنــية الهامة الموجودة فى الماء كما فى الجدول (٤-٤) . تركيز معظم هذه الأملح صغير وتحد من استخدامات المياه . ولكن كميات صغيرة من الحديد فــى المياه الجوفية قد يسبب مشاكل . وسيتم مناقشة بعض المواد الموجودة فى المياه الجوفية بتركيزات عالية بما يسبب مشاكل فى الآبار المنتجة :

جدول (٤-٤) تقسيم مكونات الأملاح المذابة فى المياه الجوفية

. المكونات الرئيسية بتركيز أكبر من ٥ ملجرام / لتر .
البيكربونات ، الكالسيوم ، الكلوريد ، المغنسيوم ، السليكون ، الصوديوم ، الكبريتات .
. مكونات ثانوية بتركيز ٠,٠١ إلى ١٠ ملجرام / لتر .
البورون ، الكربونات ، النترات ، الفلوريد ، الحديد ، البوتاسيوم ، الإسترنشيوم
. مكونات بآثار قليلة جداً (أقل من ٠,٠١ ملجرام / لتر) .
الألومنيوم ، القصدير ، الزرنيخ ، الباريوم ، البروم ، الكادميوم ، الكروم ، الكوبالت
النحاس ، اليود ، الرصاص ، المنجنيز ، النيكل ، الفوسفور ، عناصر مشعة ، ذهب فضة ، البلاتين .

الحديد [الحديدوز والحديديك Fe^{++} , Fe^{+++}]

معظم موارد المياه تحتوى على الحديد وذلك لأن الحديد يوجد فى الصخور النارية عادة وبكميات قليلة فى الصخور الرسوبية والرواسب . كميات صغيرة من الحديد فى الماء تؤثر على استخداماته فى الأغراض المنزلية والصناعية . الحديد فى مياه الشرب طبقاً للمعايير المقدرة ٠,٣ ملجرام / لتر . بعض الصناعات لا تقبل استخدام المياه بمحتوى من الحديد أكبر من ٠,١ ملجرام / لتر . عند استخدام المياه المحتوية على الحديد فى عمليات الغسيل فإنه يسبب لطع وبقع حمراء والحديد يسبب الانسداد لمواسير المياه وفتحات المصافى . ولكن ليس كل الحديد فى المياه مصدره المياه الجوفية فقد يكون نتيجة تآكل معدن الحديد فى المواسير وخاصة فى حالة المياه العدوانية (حيث الرقم الهيدروجينى المنخفض والمحتوى العالى للأكسجين) . المياه فى البئر المتوقف عن الضخ تحتوى على حديد أعلى من الموجود فى مياه الخزان الجوفى . لذلك فعند أخذ عينات المياه يتم تشغيل طلمبة الضخ لفترة زمنية طويلة حتى إزالة كل المياه فى البئر ، وعند تمام نظافة المياه يتم أخذ العينة قريباً من تصرف الطلمبة وقبل أن يلتصق الماء بالهواء الجوى .

شـــكل الحديــد فـــى الماء يتوقف على كمية الأكسجين المذاب فى الماء والرقم الهيدروجيــنى للمـــاء . فى المياه الجوفية الطبيعية حيث تركيز الأكسجين منخفض أو يكاد يكون معدوم والرقم الهيدروجينى ما بين ٦,٥ إلى ٧,٥ فإن الحديد يكون موجود أساساً فى شكل الحديدوز المذاب (Fe^{++}) . فى معظم الحالات حيث توجد مشكلة الحديد فإن تركيزه يتراوح ما بين ٢ إلى ١٠ ملجرام / لتر ، وقد يصل تركيز أيون الحديدوز إلـــى ٥٠ ملجـــرام / لتر فى حالة الرقم الهيدروجينى للماء ٧ مع عدم وجود أكسجين (ظـــروف اختزال) . أيونات الحديدوز ليست مستقرة فى حالة الالتصاق بالأكسجين . فـــى وجـــود الهواء الجوى تتحول إلى أيونات الحديديك (Fe^{+++}) وترسب كايدروكسيد حديديـــك أو أكســـيد حديديـــك . أيون الحديديك لا يذوب فى المياه القلوية أو ضعيفة الحموضـــة . عند تهوية المياه ذات رقم هيدروجيني من ٧ إلى ٨,٥ فإن معظم الحديد يصبح غير مذاب .

معظـــم مشـــاكل المياه الناتجة عن المحتوى العالى من الحديد مرتبطة بالتغير المفاجئ من الحديدوز (المذاب) إلى الحديديك (شبه صلب) . يرسب كلاً من أكسيد الحديديك وإيدروكسيد الحديديك ويغطى الأسطح المحيطة ، وتكون هذه التغطية أحياناً نتيجة وجود الصدأ على الأسطح المعدنية المعرضة للهواء الجوى .

المـــياه الجوفـــية المحتوية على بعض ملجرامات من الحديد فى اللتر قد يكون رائـــق تماماً وليس له لون عند بدء الفتح . وعند التعرض بعض الوقت للهواء الجوى لوجـــوده فى إناء مفتوح فإن الحديد المذاب يتأثر، عندئذ يبدأ الماء فى العتامة ببطء ثم أخيراً ترسب مادة تشبه الصدأ حيث تظهر فى قاع الإناء .

توجـــد ترسيبات أخرى فى إنشاءات البئر فمثلاً عندما يتحد أيون الحديدوز مع أيـــون الكربونات مكوناً بيكربونات الحديدوز وهذه تسبب الانسداد لمصافى الآبار عند تحولها إلى أملاح الحديديك ورسوبها فى مسام التربة أو فتحات المصافى .

المياه المحتوية على الحديد تنشط نحو بكتريا الحديد بما قد يسبب انسداد الآبار حيث قد يكون نمو وتكاثر البكتريا سريعاً بما يسبب توقف البئر خلال شهور من بدء تشغيله .بكتريا الحديد تنشط فى المياه الغير محتوية على الأكسجين مع وجود قليل من

ثـــانى أكســـيد الكربون والحديد المذاب حيث تنشط البكتريا المؤكسدة للحديد ويتحول الحديد إلى راسب جيلاتينى . وقد يرجع وجود البكتريا فى الآبار لعدم تطهير معدات الحفر بالكلور وكذلك تطهير البئر بعد التنمية ثم غلقه وعزله عن الهواء الجوى .

المنجنيز : (Mn^{++})

المنجنـــيز يشـــبه الحديد فى تفاعلاته الكيماوية ووجوده فى المياه الجوفية ولكن بنســـبة أقل من الحديد . ولهذا فإن وجوده غير عادى فى المياه وبنسبة قليلة جداً عن الحديـــد ، ولكـــن فـــى المـــياه الجوفية العميقة قد يصل تركيز المنجنيز إلى ٢ إلى ٣ ملجرام/ لتر . يرجع وجود المنجنيز لصرف مياه الصناعات المعدنية أو مياه استخراج المعـــادن . المنجنيز غير مرغوب فيه فى المياه كما هو الحال بالنسبة للحديد . يوجد المنجنيز فى شكل البيكربونات الغير مذاب والذى يتحول إلى إيدروكسيد المنجنيز عند تفاعله مع الهواء الجوى . البقع التى يسببها المنجنيز أكثر صعوبة فى إزالتها عن تلك الـــتى يســـبب الحديـــد . ولهذا فإن معايير مياه الشرب تحديد نسبة المنجنيز فى الماء لتجنب لطع المنجنيز وهذه النسبة هى ٠,٠٥ ملجرام / لتر . يوجد المنجنيز فى الشكل المـــذاب كبيكربونات والتى تتحول إلى الغير مذاب فى شكل الإيدروكسيد وهو راسب أســـود عـــند خروج ثانى أكسيد الكربون من البيكربونات قرب مصفاة البئر بما يعمل علـــى انسدادها .البكتريا المؤكسدة للمنجنيز مثل البكتريا المؤكسدة للحديد تسبب أكسدة المنجنيز إلى الغير مذاب .

كـــلاً من الحديد والمنجنيز يمكن استمراره فى السائل بإضافة كمية صغيرة من ملح صوديوم هكذا ميتافوسفيت إلى الماء حيث يعمل على إعاقة ترسيب أملاح الحديد والمنجنيز المذاب قبل تعرضه للهواء الجوى .

السيليكا (SiO_2) :

السيليكون هى ثانى عنصر الأكثر انتشاراً فى القشرة الأرضية بعد الأكسجين . السيليكون مع الأكسجين يكون الأكسيد الذى يسمى السيليكا (SiO_2) . رمل الكوارتز فى كثير من أشكاله هو أكسيد السيليكون. كما يتحد السليكون والأكسجين مع معظم

العناصر بسرعة (مثل عناصر البوتاسيوم ، المغنسيوم ، الصوديوم ، الحديد ، الكالسيوم ، الألومنيوم) مكونة أملاح معدنية كثيرة المكونة للصخور .

السيليكا لا تذوب بسرعة فى الماء . ولكن المياه الدافئة تحتوى أحياناً حوالى ١٠٠ ملجرام / لتر سيليكا وتركيز ٢٠ ملجرام / لتر من السيليكا يعتبر عادى . تتأثر درجة إذابة السيليكا فى الماء بدرجة الحرارة ومعدل حركة المياه الجوفية خلال الصخور ووجود أحماض طبيعية مثل حامض الكربونيك .المركب الرئيسى للسليكون المذاب فى المياه الجوفية عند رقم هيدروجينى من ٦-٩ هو $Si(OH)_4$.

السيليكا لا تسبب عسر المياه ، وتعتبر مُكون رئيسى للمواد المترسبة من كثير من المياه الجوفية . عند ترسيب السيليكا (Scales) فإن الترسيبات عادةً هى سيليكات الكالسيوم أو المغنسيوم . ترسيبات السيليكا لا يمكن إذابتها بالأحماض أو أى كيماويات أخرى المستخدمة فى المعالجة الكيميائية للآبار . لذلك المياه الغنية بالسيليكا المستخدمة فى الغلايات يجب معالجتها مسبقاً بالادمصاص أو بالتبادل الأيونى .

الصوديوم : (Na^+)

الصوديوم ينتمى إلى المعادن المسماة بالمعادن القلوية (Alkali Metals) والتى تشمل العنصر الهام البوتاسيوم .المعادن القلوية لها سمات كيماوية واحدة . الصوديوم هو الوحيد الموجود بكميات كبيرة فى المياه . تقريباً كل أملاح الصوديوم عالية الإذابة فى الماء ، حيث عند إزالتها بالإذابة (Leached) من الصخور والرواسب فإنه يظل فى المحلول . الصوديوم الناتج من تفتت الصخور يحمل إلى البحر ليكون أكثر الأيونات وجوداً فى مياه البحر بمتوسط حوالى ١٠٠٠٠ ملجرام / لتر . على الجانب الآخر فإن المياه الجوفية فى التربة من الحجر الجيرى قد تحتوى على نسبة قليلة من أيونات الصوديوم . التركيز العادى لأيونات الصوديوم فى المياه الجوفية هى من ١٠ إلى ١٠٠ ملجرام / لتر . الصوديوم لا يسبب العسر ولا يكون ترسيبات . المياه الجوفية المحتوية على كربونات الصوديوم أو بيكربونات الصوديوم بكميات كبيرة تكون قلوية وقد تكون ذات رقم هيدروجينى ٩ أو أكثر .

الجدول (٥-٤) معظم أنواع الكيماويات الموجودة فى مياه البحر

مكونات مياه البحر	ملجرام / لتر
الكلوريد (Cl^-)	١٩٠٠٠
الصوديوم (Na^+)	١٠,٥٠٠
الكبريتات (SO_4^{--})	٢٦٥٠
المغنسيوم (Mg^{++})	١٣٠٠
الكالسيوم (Ca^{++})	٤٠٠
البوتاسيوم (K^+)	٣٨٠
الكربونات (CO_3^{--})	١٨
البروميد (Br^-)	٦٥
الإسترنشيوم (Sr^{++})	٦
البورون (B)	٤,٥
الفلوريد (F)	١,٣
الألومنيوم (Al^{+++})	٠,٠٠١

الكلوريد (Cl^-):

أيون الكلوريد يكون بمتوسط تركيز ١٩٠٠٠ ملجرام / لتر فى مياه البحر ولكن فـى المياه الجوفية يتراوح ما بين ١٢-١٣ ملجرام / لتر . الآبارالقريبة من المناطق الساحلية عند ضخها باستمرار فإن بعض مياه البحر تتسرب إلى المياه الجوفية العذبة. المـياه المحـتوية على أيون الكلوريد بنسبة أقل من ١٥٠ ملجرام / لتر تكون مناسبة لمعظم الاستخدامات . المياه المحتوية على أيون الكلوريد أكثر من ٢٥٠ ملجرام / لتر غير مقبول للاستخدام المنزلى والماء المحتوى على أكثر من ٣٥٠ ملجرام / لتر غير مناسـب لمعظم استخدامات الرى والصناعة . الحيوانات كالماشية يمكنها شرب مياه بتركيز الكلوريد حتى ٣٠٠٠ إلى ٤٠٠٠ ملجرام / لتر .

الفلوريد (F):

الفلوريـد يوجـد فى خام الفلوريت (Flourite) وهو الخام الرئيسى للفلوريد فى الصخور النارية . ويوجد فى خام الأبانيت والسيكا ، كما أنه يوجد عمـوماً بتركيزات

منخفضة فى المياه الجوفية . من المهم معرفة كمية الفلوريد فى المياه التى يستخدمها الأطفال . زيادة الفلوريد يسبب تسوس مينا الأسنان ، بالإضافة إلى أن الأسنان يمكن أن تصبح هشة نظراً لأن الفلوريد يؤثر على كثافة الأسنان . هذه التأثيرات تكون واضحة أكثر بالنسبة للأطفال الذين يشربون كميات كبيرة من المياه المحتوية على فلوريد حيث تكون أسنانهم الجديدة (Perment Teeth) ما زالت تنمو .

رغم أن زيادة كمية الفلوريد ضارة إلا أن كميات صغيرة منه مفيدة تمنع تسوس الأسنان . حيث تتراوح كمياته فى المياه ما بين ٠,٨ إلى ١,٤ ملجرام / لتر .وقد أثبتت الأبحاث أن الاستمرار فى أخذ كميات صغيرة من الفلور للمرأة الحامل يوفر حماية لأسنان الأطفال بعد ولادتهم . معايير نوعية المياه لوكالة البيئة الأمريكية وضعت الحدود المسموح بها لتركيز الفلوريد ليكون ١,٤ فى المناطق حيث تتراوح درجة الحرارة ما بين ١٠-١٢ºم على مدار العام نظراً لأن استهلاك المياه أكبر فى المناطق الحارة بينما يكون التركيز ٠,٨ ملجرام / لتر فى المناطق حيث أقصى درجة حرارة يومية ما بين ٢٦,٣-٣٢,٥ºم .

النترات (NO_3^-) :

النترات ليست مثل الأملاح المعدنية الأخرى فى المياه الجوفية والتى مصدرها الصخور المكونة للخزان الجوفى .ولكن النترات تدخل المياه الجوفية من جزء آخر من دورة النيتروجين فى دورة غلاف القشرة الأرضية المائى والمحيط الحيوى (Hydrosphere And Biosphere) . توجد مركبات نيتروجين متعددة فى المياه الجوفية : النترات (NO_3^-) ، النيتريت (NO_2^-) والنشادر (NH_3) . عند تحليل المياه يتم تقييم هذه المواد إما كأيون مركب أو كمكافئ لجزئ النيتروجين (N) . واحد مليجرام / لتر يساوى ٤,٥ مليجرام / لتر نترات .

يدخل النيتروجين الأرض من مصادر مختلفة . بعض النباتات مثل الخضروات والبقول تثبت النيتروجين الجوى وتنقله إلى التربة حيث يستخدم بواسطة النبات . بعض النيتروجين الزائد يزال مع المياه المتسربة إلى جوف التربة . مصادر النيتروجين الأخرى هو تحلل بقايا النباتات والمخلفات الحيوانية وسماد النترات

بالإضـافة إلـى الصرف العشوائى لمياه الصرف الصحى على الأرض أو من خلال بـرك الأكسـدة لمـياه الصـرف الصحى . كذلك فإن كثيراً من مخلفات الكيماويات الصناعية تحتوى على النيتروجين بتركيزات عالية . يتراوح تركيز النترات الطبيعية فـى المياه الجوفية ما بين ٠,١ إلى ١٠ ملجرام / لتر . وقد يصل التركيز إلى ٦٠٠ ملجرام / لتر أو أكثر عند زيادة استخدام الأسمدة النيتروجينية . ويعتبر التركيز العالى للنـترات مؤشـر وكذلـك تحذير أن الخزان الجوفي يجب أن يختبر بالنسبة للبكتريا الممرضـة (Pathogens) والـتى قد تصاحب التلوث من هذه المصادر .يعتبر التلوث بالنترات عملياً مشكلة حيث التركيز أكثر من ٤٥ ملجرام / لتر غير مستحب فى المياه المسـتخدمة للشرب والاستخدام المنزلى بسبب الأثر السام على الأطفال خاصة بسبب فقـر الدم الناتج عن تحول النترات إلى النيتريت . وكذلك الماشية تتأثر حيث تمرض بفقر الألبان والإجهاض .

حـدود النترات الآمنة للاستخدام المنزلى هو ٤٥ ملجرام / لتر وهذا يعادل ١٠ ملجرام / لتر نيتروجين (N) . النترات لا تزال من المياه عند غليها ولكن تزال بطرق إزالة الأملاح أو التقطير . نظراً لأن النترات فى المياه الجوفية مصدرها عادةً من مياه الصرف الصحى ، لذلك فإن وجودها يعتبر دليل على التلوث . كذلك فإن التلوث بمياه الصـرف الصحى يضيف الكلوريد إلى المياه الجوفية . الكلوريد يتسرب بسرعة فى الـتربة ويعتـبر كذلك مؤشر للتلوث . لذلك فإن زيادة النترات مع زيادة الكلوريد هو مؤشر إيجابى لتسرب مياه الصرف الصحى .

الكبريتات (SO_4^{--}) :

توجـد الكبريـتات فى المياه الجوفية من الجبس المائى ($CaSO_4.2H_2O$) والجبس اللامـائى ($CaSO_4$) أو من أكسدة البيريت (Pyrite) وهو كبريتيد الحديد .المياه الجوفية فـى الصخور النارية والتحويلية تحتوى عموماً على أقل من ١٠٠ ملجرام / لتر من الكبريـتات . بالإضـافة إلـى أن المياه الجوفية قد تحتوى على كبريتات المغنسيوم ($MgSO_4,7H_2O$) والـذى يسـمى ملـح إيسـم (Epsom salt) وكبريـتات الصـوديوم ($Na_2SO_4.H_2O$) والذى يسمى ملح جلوبر (Glauber's salt) وهذه تسبب المذاق المر للماء

فى حالة وجودها بكميات كافية . بالنسبة للأشخاص الذين لم يتعودوا على شرب المياه المحتوية على نسبة عالية من الكبريتات فإن هذه الأملاح قد تسبب لهم الإسهال .

الغازات المذابة :

عادةً لا يتم تعيين الغازات المذابة فى التحاليل الروتينية للمياه . وجود الغازات بكميات كبيرة يؤثر على استخدامات المياه لأغراض معينة . معظم الغازات المذابة العادية تشمل الأكسجين ، كبريتيد الهيدروجين ، ثانى أكسيد الكربون ، النيتروجين ، ثانى أكسيد الكبريت ، النشادر . من هذه الغازات فإن الأكسجين وكبريتيد الهيدروجين وثانى أكسيد الكربون لهم أكبر تأثير على المياه الجوفية . إذابة الغازات تزداد مع زيادة درجة الحرارة وتزداد مع زيادة الضغط . الغازات المذابة لها دور فى تآكل قيسونات الآبار وكذلك المصافى بالإضافة إلى الترسيبات التى تحدث بسبب التغير فى الضغط قرب الآبار . قد تكون الغازات المذابة بتركيزات تتراوح ما بين ١-١٠٠ ملجرام / لتر .

الأكسجين المذاب :

إذابة الهواء الجوى فى الماء عند درجة حرارة صفر درجة مئوية وعند الضغط الجوى حوالى ٢٩ ملجرام / لتر ، ويمثل ١٠% من هذا الأكسجين المذاب . إذابة الأكسجين فى الماء تنخفض مع ارتفاع درجة الحرارة وتصل إلى الصفر عند درجة الغليان . وعلى الجانب الآخر فإن الأكسجين يمكن أن يعلق بالماء مع زيادة الضغط . ولهذا فإن الماء فى خزان الضغط يمكن أن يحتوى على أكثر من ١٠ ملجرام / لتر أكسجين .

الأكسجين المذاب فى المياه الجوفية على أعماق أكبر من ٣٠-٤٥ متر يعتبر منخفض . حيث يستهلك معظم الكسجين فى أكسدة المواد العضوية وذلك عند تسرب المياه خلال منطقة التهوية . المياه المحتوية على الأكسجين المذاب يسبب التآكل للمعادن عندما يكون الرقم الهيدروجينى منخفض . ولكن المياه المحتوية على بعض الكسجين المذاب وقوة توصيل كهربى عالى نسبياً (بسبب وجود الأملاح المذابة) تكون عدوانية حتى وإن كان الرقم الهيدروجينى ٨ أو أكثر . المعادن ذات الحساسية

للتآكل تشمل الحديد، الصلب ، الحديد المجلفن ، النحاس الأصفر . معدل التآكل يزداد مـــع ارتفـــاع درجة الحرارة ولكن كمية الأكسجين المذاب تنخفض مع ارتفاع درجة الحـــرارة . ولذلـــك فإن معدل التآكل قد لا يتغير بوضوح إلا فى حالة المياه الجارى تسخينها تكون تحت ضغط .

الأكسجين المذاب قد يحدث تآكل للحديد المجلفن وبعض أنواع النحاس الأصفر (Brass) . زنك الجلفنة يتأكسد ويزال بالمياه فى حالة وجود الأكسجين المذاب وخاصةً إذا كانـــت مـــادة الزنك بها شوائب . وكذلك يزيل الأكسجين المذاب الزنك من سبيكة النحاس الأصفر تاركاً السبيكة مثقبة وضعيفة . تتراكم الرواسب من أكسيد الحديد على الســطح الداخلى للمواسير الحديدية عندما يكون الحديد مذاب يسبب الخفض فى الرقم الهيدروجينى مع وجود أكسجين مذاب مكوناً الأكسيد الغير مذاب ، حيث ترسب طبقة مـــن الأكسيد على السطح المتآكل . الرواسب (Scales) حجمها أكبر من حجم المعدن الأصـــلى وبالتدريج تمتلئ الماسورة بالرواسب بما يقلل من طاقة الماسورة . فقد ثبت من أحد الدراسات أن مواسير المياه الحديدية (التى ليس بها حماية داخلية) تفقد قدرة التحميل بمعدل ١ – ٢% خلال فترة زمنية من ٢٠ – ٣٠ سنة .

كبريتيد الهيدروجين : (H_2S)

المـــياه الجوفـــية المحتوية على غاز كبريتيد الهيدروجين المذاب يمكن التعرف علـــيها بســـهولة بسبب رائحتها التى تشبه رائحة البيض الفاسد ، حيث يمكن ملاحظة تركـــيزات من كبريتيد الهيدروجين حتى ٠,٥ ملجرام / لتر فى المياه الباردة والرائحة لا تطـــاق عـــندما يصـــل التركيز إلى ١ ملجرام / لتر . المياه المحتوية على كميات صـــغيرة من كبريتيد الهيدروجين والذى يمتص بسهولة فى الماء . فى ماسورة المياه فإن المياه تكون مع المعدن كبريتيد الحديد والذى يرسب كمادة غير مذابة فى الماسورة .

ثانى أكسيد الكربون (CO_2) :

يذوب ثانى أكسيد الكربون فى مياه الأمطار عند سقوطها من الجو ولكن الكمية الكبيرة تذوب في المياه التى تجرى فى تربة بها نباتات تنمو. جذور النباتات والنبات الـــتى تحللت تعمل على وجود ثانى أكسيد الكربون فى مسام التربة فوق منسوب خط

المياه . وجود ثانى أكسيد الكربون يكون واضح فى المياه الجوفية خاصة عندما تكون أيونات الكالسيوم وأيونات البيكربونات مذابة . فى ظروف الضغط الجوى تظل كمية ثـانى أكسـيد الكـربون المذاب ثابتة ، ولكن الضغط قرب مصفاة البئر ينخفض عند الضـخ ولذلـك يخـرج ثانى أكسيد الكربون من المحلول فى شكل فقاعات غازية . وترسب كربونات الكالسيوم حتى إعادة الإتزان للمحلول . ولخفض ترسيب كربونات الكالسـيوم عـند ضـخ البئر يلزم العمل على التقليل من انخفاض الضغط ما أمكن . ويمكـن تحقيق ذلك بخفض سرعة دخول المياه إلى فتحات المصفاة ويتم ذلك بتوفير مصـفاة بـئر ذات أقصـى مساحة دخول . العلاقة المتداخلة بين الرقم الهيدروجينى والبـيكربونات وثـانى أكسـيد الكـربون فى الجدول (٦-٤) وهذه الأرقام أقرب إلى الصحيح وإن كانت تحتاج إلى تصحيح بسيط بالنسبة لدرجات الحرارة والأملاح الكلية المذابة . ولكنها مناسبة ودقيقة بما فيه الكفاية فى حالة الحاجة إليها .

جدول (٦-٤) ثانى أكسيد الكربون الحر فى الماء

قلوية البيكربونات مقيمة ككربونات الكالسيوم ملجرام / لتر	ثانى أكسيد الكربون الحر عند رقم هيدروجينى مختلف		
	عند رقم هيدروجينى ٧	٧,٥	٨
١٠٠	٢٢	٦	٢
٢٠٠	٤٣	١٢	٤
٣٠٠	٦٣	١٧	٦
٤٠٠	٨٢	٢٢	٧

الذرات المشعة : Redionuclides

التحلل الإشعاعى لعناصر معينة غير مستقرة ينتج إشعاعات المسماه بإشعاعات ألفـا (H) ، بيـتا (B) وجاما (N) . الجسم البشرى حساس جداً للتلف من إشعاعات ألفا وجاما. التعرض التراكمى للإشعاعات يمكن أن يسبب بياض الدم (Leukemia) ، عيوب خلقية للمواليد ، تخلف عقلى ، الأورام الخبيثة (Tumors) . استخدام الطاقة الذرية يزيد مـن متوسـط التعرض فى أماكن معينة بالنسبة لمصادر الطاقة الذرية التقليدية فإنها سـتؤدى إلى زيادة فرص التعرض للتلوث الإشعاعى لكل من مصادر المياه السطحية

والجوفـية . وحالياً تبذل جهود لخفض الصرف للمخلفات المشعة نظراً لوجود المياه لفترة طويلة فى الأرض فإن التلوث الإشعاعى يستمر فى حالة وجود المواد المشعة فى التربة الحاملة للمياه . من بين المواد المشعة السامة هو عنصر الراديوم ٢٢٦ . ولكن لحسـن الحظ فإن التلوث للمياه الجوفية بالمواد المشعة ليس واسع الانتشار ولكن فى حالـة وجودهـا فإنهـا تسبب فساد للمياه الجوفية . وقد تحددت معايير التلوث للمياه بالمواد المشعة بالنسبة للراديوم ٢٢٦ ، الراديوم ٢٢٨ لا يزيد عن ٥ بيكورى فى اللتر (البيكورى هو كمية المواد المشعة المنتجة لـ ٢,٢٢ انتقال نووى فى الدقيقة .

البورون : Boron

قـد يوجد البورون بكميات صغيرة جداً ، وعادة يحدد فى المناطق الجافة وشبه الجافـة حيث تستخدم المياه للرى ، ورغم أن البورون بكميات قليلة جداً أساسى لنمو النبات، إلا أنه متلف لنباتات كثيرة فى حالة زيادة تركيزه عن ١ ملجرام / لتر .

نوعية المياه : Water Quality

الغرض الأول من تحليل المياه هو لتحديد مدى ملاءمة استخدامها للأغراض المختلفة الاستخدامات الرئيسية للمياه هى للشرب والاستخدام المنزلى وللزراعة والصناعة. وإن كان استخدام المياه فى بعض العمليات الصناعية يتطلب نوعية من المياه تفوق نوعية المياه للشرب بالنسبة لمياه الشرب والاستخدام المنزلى فإن أقصى نسبة تلوث لمياه الشرب على أساس معدل الشرب للشخص العادى ١,٩ لتر فى اليوم هو الموضح فى الجدول (٧-٤). عادة يمكن مقابلة أكثر من نوعية تربة حاملة للمياه فى البئر بما يترتب عليه احتمال تغيرات كبيرة فى نوعية المياه ، عندئذ يلزم إبعاد المياه ذات النوعية المتدنية من الإمداد الرئيسى ، تعين النوعية البيولوجية للمياه بتحليل الكوليفورم ، بكتريا الكوليفورم هى مجموعة من الكائنات الحية الدقيقة المستخدمة كمؤشر لخطورة مستوى التلوث نظراً لأن بعض هذه البكتريا تكون فى الإفرازات الغائطية للإنسان وزوات الدم الحار عموماً . دراسة هذه الكائنات مفيدة لأنها غير ضارة ولا تتكاثر خارج جسم الإنسان كما أنه يسهل كشفها والتعرف عليها وعدها .

تنص المعايير أن مياه الشرب يجب ألا تحتوى علي أكثر من عد واحد للكوليفورم (Icolony) فى ١٠٠ سم^3 من الماء . يلزم عند إنشاء البئر حمايته من الملوثات التى قد تدخل إلى البئر وهذا يعنى عزل مناطق المياه الملوثة .

جدول (٧-٤) المعايير الدولية لمياه الشرب

المواد	أقصى مستوى للتلوث	المواد	أقصى مستوى للتلوث
الكيماويات الغير عضوية		الترايهالوميـــتان الكلـــى	٠,١
الزرنيخ	٠,٠٥	العد الكلى للكوليفورم	١ فى ١٠٠سم٣
الباريوم	١,٠	العكارة بمقياس TV	١
الكادميوم	٠,٠١	أيون الكلور	٢٥٠ملجرام/لتر
الكروم	٠,٠٥	اللون (وحدة لون)	١٥
الفلوريد	٠,٨ – ١,٢	النحاس	١ملجرام/لتر
الرصاص	٠,٠٥	الحديد	٠,٣ملجرام/لتر
الزئبق	٠,٠٠٢	المنجنيز	٠,٠٥ملجرام/لتر
النترات (N)	١٠,٠٠	الرائحة (رقم الرائحة)	٣
السيلينيوم	٠,٠١	الرقم الهيدروجينى	٦,٥ – ٨,٥
الفضة	٠,٠٥	الكبريتات	٢٥٠ملجرام/لتر
الكيماويات العضوية المكلورة		الزنك	٥ملجرام/لتر
الإندرين	٠,٠٠٠٢	الأملاح الكلية المذابة	٥٠٠ملجرام/لتر
اللندين	٠,٠٠٤	المواد المنتجة للرغاوى	٠,٥ ملجرام/لتر
ميثوكسى كلور	٠,١		
توكسافين	٠,٠٠٥		

الاستخدام الصناعى :

نوعية المياه للاستخدامات الصناعية تختلف كثيراً طبقاً للاستخدام . فمثلاً المياه المالحـــة والمياه المملحة (Salt and Brakish Waters) تستخدم عادة كمياه تبريد وخاصة عند استخدامها مرة واحدة (لا يتم تدويرها) وإمكان التخلص منها بدون تلوث للبيئة . التخلص من هذه المياه يعتبر من المشاكل الكبيرة . فقد تكون الطريقة الوحيدة للتخلص هـــى الحقـــن فى الآبار العميقة . المياه المستخدمة فى العمليات الصناعية ذات نوعية عالـــية عـــن المستخدمة فى التبريد . مياه الشرب تعتبر مناسبة لاستخدامات صناعية

كثيرة عدا فى حالة استخدامها فى الغلايات . أكثر من ٦٠% من المياه المستخدمة فى صناعة منتجات الألبان أو المعلبات أو اللحوم أو المشروبات تزيد عن تلك المستخدمة فى مياه الشرب . فى كثير من الأحيان تكون مياه الشرب مفضلة بسبب ثبات درجة حرارتها نسبياً . فى حالات أخرى تكون المياه الجوفية مفضلة بسبب عسرها الطبيعى والذى يكون مفضل فى صناعة المخبوزات والبيرة . وعلى الجانب الآخر فإن كميات صغيرة من الحديد ، المنجنيز أو الكالسيوم يمكن أن يسبب مشاكل كبيرة فى عمليات تصنيع الورق . الجدول (٨-٤) يوضح بعض المواصفات لنوعية المياه المستخدمة فى بعض الصناعات .

جدول (٨-٤) أنواع المياه المستخدمة فى بعض الصناعات :

الصناعة	العكارة	اللون	العسر ملجرام/لتر مقيم ككربون كالسيوم	القلوية ملجرام/لتر مقيم ككربون كالسيوم	الحديد والمنجنيز ملجرام/لتر	الأملاح الكلية ملجرام/لتر	خلافه
منتجات غذائية					—	—	
مخبوزات					—	—	أ
بيرة	١٠	١٠	مطلوب بعض العسر	—	٠,٢	—	أ،ب
المعلبات	١٠	–	—	١٥٠-٧٥	٠,١	١٠٠٠-٥٠٠	أ
الحلويات	١٠	–	١٠٠-٧٥	—	٠,٢	—	أ
الثلج	—	–	—	—	٠,٢	١٠٠	أ،ج
منتجات صناعية	٥	٥	—	٥٠-٣٠	٠,٢	٣٠٠	—
جلود					٠,٤	—	
ورق	٢٠	١٠٠-١٠	١٣٥-١٥	١٣٥	٠,١	٢٠٠	
لب الورق	٥	٥	٥٠	—	١,٠-٠,١	٣٠٠-٢٠٠	
صباغة	٢٠-١٥	٢٠-١٠	١٨٠-١٠٠	—	٠,٢٥	—	.
المنسوجات	٥	٢٠-٥	٢٠	—	—	—	هـ
المنسوجات					٠,٥	—	و

الصناعة	العكارة	اللون	العسر ملجرام/لتر مقيم ككربون كالسيوم	القلوية ملجرام/لتر مقيم ككربون كالسيوم	الحديد والمنجنيز ملجرام/لتر	الأملاح الكلية ملجرام/لتر	خلافه
عموماً	٥	٢٠	٢٠	—		٠,٠٢	
البلاستيك					٠,٢	٢٠٠	—
مياه الغسيل	٢	٢	—	—	٠,٢		—
	—	—	٥٠	—			—

أ = مرغوباً فيه بعض العسر

ب = كلوريد الصوديوم لايزيد عن ٢٧٥ ملجرام/لتر

جـ = أكسيد السيليكون لايزيد عن ١٠ ملجرام/لتر ، بيكربونات الكالسيوم والماغنسيوم تسبب مشاكل كلاً من الكبريتات ، الكلوريدات ، الصوديوم ، الكالسيوم ، والماغنسيوم كل لا يزيد عن ٣٠٠ ملجرام/لتر .

د = لا تكوين لمواد لزجة أو طينية

هـ = غير عدوانية

و = تكوين ثابت ، الألومنيا المتبقية لا تزيد عن ٠,٥ ملجرام / لتر .

الاستخدام الزراعي :

نوعية المياه ونوع التربة وعمليات الزراعة جميعهم لهم دور في عملية الري الناجحة. المياه ذات النوعية الجيدة توفر أقصى إنتاج طبقاً لنوع التربة المناسبة والتحكم في عملية الري . دراسة نوع التربة يحدد معدل التسرب الذي يمكن توقعه في تربة معينة، ولذا يمكن توفير دليل لإمكانية إزالة الأملاح المعدنية (Leaching) من سطح التربة . والمهم كذلك التجاوز في أملاح معينة التي يلزم تعيينها قبل البدء في زراعة محصول معين . الجدول (٤-٩) يوضح المواد والنوعية لتقييم المياه لأغراض الري . الجدول (٤-١٠) يوضح التركيزات الموصى بها لتركيز العناصر في مياه الري .

جدول (٩-٤) التقييم المعملى لمياه الرى :

الحموضة – القلوية نسبة إدمصاص الصوديوم SAR نيتروجين – الأمونيا البيكربونات البورون الكالسيوم الكربونات الكلوريد التوصيل الكهربى الماغنسيوم الصوديوم الكبريتات	فى حالات خاصة فقط الحديد الليثيوم النترات – نيتروجين الفوسفات – فوسفور

جدول (١٠-٤) أقصى تركيز موصى به للعناصر فى مياه الرى (Trace elements) .

العنصر (الرمز)	للمياه المستخدمة باستمرار فى الرى ملجرام / لتر	للمياه المستخدمة لمدة ٢٠ سنة للتربة ذات الحبيبات الصغيرة والرقم الهيدروجينى ٦ – ٨,٥ (ملجرام / لتر)
ألومنيوم (AL)	٥,٠	٢٠,٠٠
زرنيخ (AS)	٠,١	٢,٠٠
بريليوم (Be)	٠,١	٠,٥
بورون (B)	٠,٧٥ – ١	٠,٢
كادميوم (Cd)	٠,٠١	٠,٠٥
كروميوم (Cr)	٠,١	١,٠
كوبالت (Co)	٠,٠٥	٥,٠٠
نحاس (Cu)	٠,٢	٥,٠٠
فلوريد (F)	١,٠	١٥,٠٠
حديد (Fe)	٥,٠	٢٠,٠٠
رصاص (Pb)	٥,٠	١٠,٠٠
ليثيوم (Li)	٢,٥	٢,٥
منجنيز (Mn)	٠,٢	١٠,٠٠
موليدنيوم (Mo)	٠,٠١	٠,٠٥×

العنصر (الرمز)	للمياه المستخدمة باستمرار فى الرى ملجرام / لتر	للمياه المستخدمة لمدة ٢٠ سنة للتربة ذات الحبيبات الصغيرة والرقم الهيدروجينى ٦ – ٨,٥ (ملجرام / لتر)
نيكل (Ni)	٠,٢	٢,٠٠
سيلينيوم (Se)	٠,٠٢	٠,٠٢
فاناديوم (V)	٠,١	١,٠٠
زنك (Zn)	٢,٠٠	١٠,٠٠

× للمياه في التربة الحامضية ذات الحبيبات الدقيقة وبها نسبة عالية من أكسيد الحديد.

• لا توجد بيانات عن الزئبق ، الفضة ، القصدير ، التيتانيوم ، التنجستن .

مشاكل نوعية المياه فى الرى تشمل الملوحة والسمية ، الملوحة الزائدة تحدث عندما تتراكم الأملاح على سطح التربة . هذه الأملاح يمكن أن تؤثر على الإنتاج الحصولى نظراً لأن جذور المحصول وخاصة فى المنطقة العليا للجذور تجد صعوبة كبيرة فى استخلاص المياه الكافية والعناصر الغذائية من المحلول الملحى . ولهذا فإن إنتاج المحصول يقيد لعدم وصول المياه إلى منطقة الجذور . تعتبر السمية مشكلة كذلك نحو توفير محصول جيد .

بعض المياه تحتوى على تركيزات عالية من عناصر معينة والتى تؤخر أو توقف نمو بعض النباتات . ومن هذه المواد البورون والكلوريدات والصوديوم . الصوديوم له تأثير بعيد على التربة . معظم الصوديوم فى المياه الطبيعية يكون ناتج من تفتت الفلدسبار منتجاً مواد مذابة ، وكذلك بعض من الصوديوم يكون من المواد الهالوجينية (Mineral Halite) فى التربة مثل ملح الطعام . من المهم هو النسبة بين الصوديوم إلى الكاسيوم والماغنسيوم . عند استخدام المياه المحتوية على صوديوم عالى فى التربة ، فإن بعض الصوديوم يمتص بواسطة الطمى (Clay) فى شكل تبادل قاعدى مع الكالسيوم والماغنسيوم الموجود فى الطمى . عندئذ تتغير الخصائص الطبيعية للتربة بما يمكن أن يؤدى إلى تأخر نمو النبات . الطمى الذى يمتص

الصــــوديوم يصبح لزج (Sticky) وزلق (Stick) عندما يبتل وتنخفض نفاذيته . وعندما يجف فإن الطمى ينكمش إلى كتل صلبة والتى يصعب زراعتها . هذا بالإضافة إلى أن التركــيز العالى من أملاح الصوديوم يمكن أن يسبب فى قلوية التربة حيث يكون نمو النباتات ضعيف أو معدوم . ولكن عند حمل نفس الطمى للكالسيوم أو الماغنسيوم فى شكل أيونات زائدة فإنه يمكن حرثها (Tills) بسهولة وتتحسن نفاذيتها .

فـــى حالـــة احتواء مياه الرى على أيونات الكالسيوم والماغنسيوم بكمية كافية مســـاوية لأيونـــات الصوديوم أو تزيد عنها ، فإنه يحتجز الكالسيوم والماغنسيوم فى الطمى بكمية كافية بما يحافظ على النفاذية الجيدة والحرث الجيد . هذه المياه مفيدة فى الرى حتى ولو كان إجمالى الأملاح المعدنية فى المياه عالية نسبياً .

أهمــية الصوديوم أدى إلى تبنى طريقة قياس تأثير أيون الصوديوم . وفى عام ١٩٥٤ قـــام معمل الملوحة فى أمريكا باقتراح أن تأثير الصوديوم يمكن حسابه بنسبة ادمصاص الصوديوم (Soduim Adsorbtion Ratio \SAR). طريقة SAR يمكن حسابها من المعادلة الآتية . حيث كلاً من الكالسيوم والماغنسيوم تكون مجموع المكافئ

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{ca + Mg}{2}}}$$

جــزء فـــى الملـــيون / لتر (Milliequivalent \litre) من تحاليل المياه . تصحيح الصوديوم الزائد فى التربة يكون نتيجة مياه الرى حيث قيمة SAR ١٨ أو أكثر . قيمة SAR أقــل من ١٠ تبين أنه لا خطورة من مشاكل الصوديوم . فى الظروف الطبيعية يأخذ النبات قليلاً من الأملاح المعدنية المذابة فى مياه الرى .

جدول (٤/١١) معاملات التحويل الكيميائية (عند التحويل من إلى اضرب فى)

المكونات	ملجرام / لتر إلى المكافئ جزء فى المليون	المكافئ جزء فى المليون إلى ملجرام / لتر	ملجرام / لتر إلى ملجرام / لتر كربونات كالسيوم ($CaCO_3$)
كالسيوم	٠,٠٤٩٩	٢٠,٠٤	٢,٤٩٧
الحديد	٠,٠٣٥٨	٢٧,٩٢	٠,٦١٢
الماغنسيوم	٠,٠٨٢٢	١٢,١٦	٤,١١٥

المكونات	ملجرام / لتر إلى المكافئ جزء فى المليون	المكافئ جزء فى المليون إلى ملجرام / لتر	ملجرام / لتر إلى ملجرام / لتر كربونات كالسيوم ($CaCO_3$)
البوتاسيوم	٠,٠٢٥٦	٣٩,١٠	١,٢٨٠
الصوديوم	٠,٠٤٣٥	٢٣,٠٠	٢,١٧٦
البيكربونات	٠,٠١٢٣	٨١,٠٥	٠,٦١٧
الكربونات	٠,٠٣٣٣	٣٠,٠٠	١,٦٦٨
الكلوريد	٠,٠٢٨٢	٣٥٠٤٦	١,٤١١
الإيدروكسيد	٠,٠٥٨٨	١٧,٠١	٢,٩٢٦
النترات	٠,٠١٦١	٦٢,٠١	٠,٨٠٧
الفوسفات	٠,٠٣١٦	٣١,٦٧	١,٥٨
كبريتات	٠,٠٢٠٨	٤٨,٠٤	١,٠٤٢
بيكربونات الكالسيوم	٠,٠١٢٣	٨١,٠٥	٠,٦١٧
كربونات الكالسيوم	٠,٠٢٠٠	٥٠,٠٤	١,٠٠
كلوريد الكالسيوم	٠,٠١٨	٥٥,٥	٠٩٠٢.
إيدروكسيد الكالسيوم	٠,٠٢٧	٣٧,٠٢	١,٣٥١
كبريتات الكالسيوم	٠,٠١٤٧	٦٨,٠٧	٠,٧٣٥
بيكربونات الحديدوز	٠,٠١١٢	٨٨,٩٣	٠,٥٦٣
كربونات الحديدوز	٠,٠٢٣٧	٤٢,١٦	١,١٨٧
كلوريد الماغنسيوم	٠,٠٢١	٤٧,٦٢	١,٠٥١
إيدروكسيد الماغنسيوم	٠,٠٣٤٣	٢٩,١٧	١,٧١٥
كبريتات الماغنسيوم	٠,٠١٦٦	٦٠,٢	٠,٦٣١
كلوريد البوتاسيوم	٠,٠١٣٤	٧٤,٥٦	٠,٦٧١
بيكربونات الصوديوم	٠,٠١١٩	٨٤,٠١	٠,٥٩٦
كربونات الصوديوم	٠,٠١٨٩	٥٣,٠٠	٠,٩٤٤
كلوريد الصوديوم	٠,٠١٧١	٥٨,٤٦	٠,٨٥٦
إيدروكسيد الصوديوم	٠,٠٢٤٥	٤٠,٠١	١,٢٥١
نترات الصوديوم	٠,٠١١٨	٨٥,٠١	٠,٥٨٩
فوسفات الصوديوم	٠,٠١٨٣	٥٤,٦٧	٠,٩١٥
كبريتات الصوديوم	٠,٠١٤١	٧١,٠٤	٠,٧٠٤

معظم الأملاح المعدنية الموجودة فى الماء تبقى فى التربة أو تظل مذابة فى

الجـــزء الغير مستخدم من الماء .الرى المتكرر يمكن أن ينتج عنه تراكم أملاح كثيرة ويـــذا يـــتلف الإنتاجـــية للتربة المروية . لذا يلزم وجود بعض طرق سحب الأملاح المـــتراكمة فى التربة (Leaching) بإذابتها وتسربها إلى جوف الأرض . فى الظروف الطبيعية لنوعية المياه يمكن الرى بالتتالى إذا كان التحكم يشمل (١)الرى من آن لآخر لتوفير مياه التربة للمحصول (٢) زراعة المحاصيل التى تتحمل مشاكل الملوحة (٣) اســـتخدام مـــياه زائـــدة بطـــريقة روتينية لتوفير احتياجات إذابة الأملاح وتصريفها (Leaching) (٤) تغيـــير طـــريقة الرى بما يوفر التحكم فى الأملاح (٥) تغيير أساليب الاســـتزراع . تحليل نوعية المياه يساعد على عملية التحكم ولذلك يلزم عمل التحاليل الســـنوى للمياه للكشف عن أى تغير يمكن أن يؤثر على الإنتاجية . التحاليل الكيميائية لمياه الرى لا تبين أن المياه خالية من البكتريا الممرضة لذلك فإنها لا تناسب الاستخدام للشـــرب . لذلـــك يلزم مراجعة التأثير الصحى للمياه من آن لآخر لإمكان استخدامها بدون معالجة لتأكيد خلوها من البكتريا الممرضة .

وحدات القياس : Units of Measure

القياس الأكثر شيوعاً من الأملاح المذابة هو جزء فى المليون بالنسبة للوزن ، أى جزء بالوزن من المواد المعدنية المذابة موجود فى مليون جزء بالوزن من الماء . المـــواد المعدنـــية المذابة تسمى كذلك الأملاح الكلية المذابة (Total Dissolved Solids \TDS). التعبـــير ملجرام / لتر يستخدم لدقته ويساوى وحدات جزء فى المليون بالنسبة للمياه العذبة. عند تحويل ملجرام / لتر إلى المكافئ لكل مليون (Equivalent \ Million) (epm) ويســـمى كذلك المكافئ بالملجرام / لتر (Milligram Equivalent \ litre) (Meq) . لتعييـــن المكافئ فى المليون (epm) يتم قسمة تركيز الأيون بالملجرام /لتر على الوزن المكافئ لهذا الأيون . الوزن المكافئ يساوى الوزن الجزئيى مقسوماً على التكافؤ .

الفصل الخامس

طرق حفر الآبار

٥

توجد طرق مختلفة لحفر الآبار نظراً للتفاوت فى الطبيعة الجيولوجية للتربة ما بيـن الصـــخور الصلبة مثل الجرانيت والدولوميت إلى الرواسب الغير متماسكة مثل الرمال والزلط والطمى . فى كثير من الحالات يكون استخدام طريقة معينة هو السائد فـــى أماكـــن محددة نظراً لقدرتها على اختراق الخزان الجوفى وبذلك تحقق وفر فى التكاليف . وفى حالات أخرى تتغير طريقة الحفر طبقاً لعمق وقطر البئر ونوع التربة المخترقة والاشتراطات الصحية والاستخدام الرئيسى للبئر . ولهذا فإنه لا توجد طريقة مفضـــلة لكـــل الظـــروف الجيولوجية . الحفر الناجح هو فن ناتج عن الخبرة الطويلة والاستخدام السليم للأداء الهندسى .

تشـــمل إنشـــاءات البـــئر ٤–٥ عمليات وهى الحفر ، وضع المصفاة ، وضع المصـــفاة والظهـــير الزلطى وعند الحاجة وضع التحشية الأسمنتية (Grouting) لتوفير الحماية الصحية ، بالإضافة إلى تنمية البئر لتأكيد الخلو من الرمال عند أقصى إنتاج . يمكـــن تنفيذ ٢–٣ من هذه العمليات فى نفس الوقت طبقاً لطريقة الحفر المستخدمة . فمثلاً عند الحفر فى التربة الغير متماسكة بطريقة الكابل أو بطريقة الحفر خلال دافع القيســـون (Drill Through Casing Driver) ، فـــإن القيسون يركب مع تقدم الحفر . أما عـــندما يكـــون الدفـــع للمصفاة تنفذ ثلاث عمليات سوياً ، فتح الحفر ، إنشاء القيسون ومصفاة البئر .

طرق الحفر وأساليب الإنشاء متعددة . الحدود العملية لمعظم طرق الحفر تتوقف على الظروف الجيولوجية . سيتم الإشارة إلى بعض طرق الحفر .

طريقة الحفر بالكابل : (Cable Drilling Method)

تعتـــبر طريقة الحفر بالكابل هى أقدم طريقة لحفر الآبار ابتكرها الصينيون منذ أكـــثر مـــن ٤٠٠٠ سنة حيث استخدم الكابل والدق (Percussion) حيث أمكن حفر بئر لعمق ٦١٥ متر واستغرق الإنشاء عقدين أو ثلاثة .تسمى ماكينة الحفر بالكابل تجهيزة النقر أو الدق (Percussion Rigs) وتعمل بتكرار الرفع والخفض الكابل الثقيل لآلة الحفر فى ثقب الحفر شكل (١–٥) قطعة الحفر تفتت الصخور الصلبة كما تعمل على تفتيت

التربة الغير متماسكة . وفى كلا الحالتين عملية النقر الترددية تعمل على خلط مواد التربة المفككة بالماء مكوناً روبة (Slurry) فى قاع الحفر . وفى حالة عدم وجود ماء فى التربة الجارى اختراقها يضاف الماء ليكون الروبة تراكم الروبة يزداد مع زيادة الحفر وكذلك خفض الارتطام لأدوات الحفر . عندما يكون معدل الحفر غير مناسب تزال الروبة على فترات من الحفر بواسطة طلمبة أو بالنزح (Sand Pump or Bailer) . شكل (١-٥)

معدة كابل الحفر الكاملة تتكون من خمسة مكونات :

لقمة الحفر Drill bit

عامود الحفر Drill stem

أزرع ومجرى تحرير قطعة الحفر Drilling Jars

قطعة دوارة على قاعدة ثابتة Swivel Socket

الكابل Cable

لقمة الحفر لمعدة كابل الحفر عادةً ضخمة وثقيلة ليمكنها تفتيت وخلط كل مواد التربة . عامود الرفع يضيف ثقل إلى لقمة الحفر وطوله يساعد على استمرار استقامة الحفر عند الحفر فى صخور صلبة . تتكون أزرع ومجرى تحرير لقمة الحفر (Drilling Jars) من عامودين صلب معالج منفصلين . عند ارتطام لقمة الحفر فإنها يمكن أن تتحرر معظم الوقت بانزلاق أزرع التحرير لقمة الحفر لأعلى حيث أنها حرة الحركة ، مشوار أزرع الانزلاق للقمة الحفر من ٩ إلى ١٨ بوصة . قطعة الدوران على القاعدة الثابتة (Swived Socket) توصل منظومة الحفر بالكابل ، بالإضافة إلى أنها تضيف بوزنها إلى طاقة الرفع للأزرع عندما يكون ذلك ضرورى . وهى كذلك تنقل دوران الكابل إلى الأجزاء وإلى لقمة الحفر بما يمكن من تكسير لصخر جديد مع كل مشوار لأسفل وبذلك يتحقق حفر دائرى ومستقيم . مكونات الأجزاء مقلوظة مع بعضها .

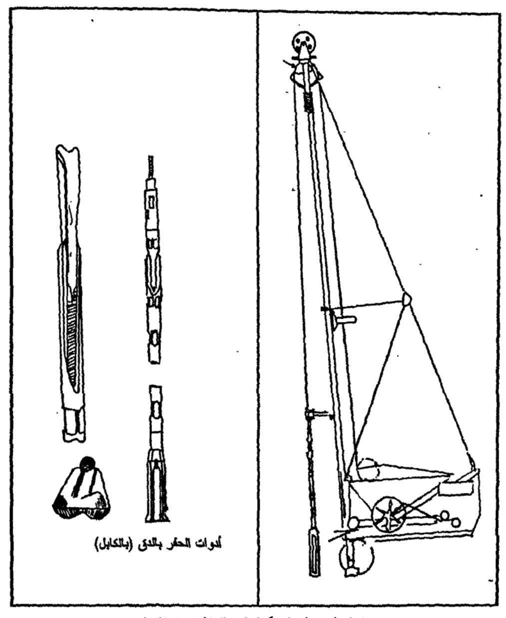
سلك الكابل الذى يحمل ويعمل على دوران أجزاء الحفر يسمى خط الحفر .

وهـــو بقطـــر $\frac{5}{8}$ إلى ١ً (بوصة) وهو يلف وصلة الأجزاء عند كل مشوار لأعلى بما يمنعها من التفكك . خط الحفر ملفوف على بكرة (لها حلزونى فى الدوران الكامل) أعلا الصارى وأسفل صارى الحفر (Spudding Sheane) إلى صارى القاعدة ، ثم إلى خـــط التشـــغيل لقاعدة الدفع شكل (١-٥) . بكرة الرفع مجهزة بفاصل على أسطوانة البكرة ليكون خط التشغيل على جانب وخط الاحتياط على جانب . دلو النزح يستخدم لإزالـــة الروبة أو الصخور يتكون من ماسورة مجهزة بمحبس عدم رجوع عند ألقاع (محبس قدم) . دلو النزح متصل بكابل يسمى خط الرمال . وقد تستخدم طلمبة الرمال أو دلو السحب (Suction bailer) . الدلو مجهز بمكبس حيث الدفع العلوى للمكبس يعمل على إيجاد تفريغ الذى يفتح المحبس وامتصاص الرمال والروبة فى الماسورة . معظم طلمبات سحب الرمال بطول ٣ إلى ٦,١ متر .

خصائص الحفر لأعلى ولأسفل لماكينة الكابل يرجع إلى الكرة المتحركة ترتكز علـــى محور من جانب والجانب الخارجى يتحرك لأعلى ولأسفل بذراع أو بذراعين توصـــيل متصـــل بعامود إدارة . وضبط المشوار الرأسى وعدد المشاوير فى الدقيقة يمكن ضبطه بتجهيزات خاصة .

يوجد خط كابل لدفع القيسون والمصفاة والطلمبة ... الخ .

ماكيـــنة كابل الحفر لها حدود بالنسبة لعمق الحفر وقطر الحفر . فمثلاً بالنسبة للقطـــر الصـــغير يمكـــن أن يزداد العمق . يمكن منع احتكاك القيسون أثناء الانزال باســـتخدام سائل الحفر خارج القيسون أثناء الحفر . عند حفر الآبار فإن ماكينة الكابل يمكـــنها الحفر لعمق من ٣٠٠ قدم إلى ٥٠٠٠ قدم (٩١,٥ متر - ١٥٢٠ متر) . فى حالـــة الحفر فى تربة متماسكة لاستخدام القيسونات فى كل أو فى أجزاء من الحفر . وفـــى بعض الحالات يتناقص قطر القيسون وكذلك قد يتناقص قطر المصفاة مع زيادة العمق وطبقاً لنوع التربة ، عندئذ يتم إنزال القيسون أو المصفاة بالطريقة التلسكوبية .



شكل (١-٥) ماكينة الحفر بالكابل ومكوناتها

الحفر الدوار المباشر [الحفر المحورى] : Direct Rotary Drilling

استخدمت طريقة الحفر المحورى لزيادة سرعة الحفر وزيادة عمق الحفر فى معظم أنواع التربة شكل (١-٢) بحفر البئر بواسطة أداة القطع الدوارة (Rotating bit) وتزال تربة القطع باستمرار بتدوير سائل الحفر مع اختراق أداة القطع الدوارة للتربة .أداة القطع متصلة بالنهاية السفلى لماسورة الحفر ، والتى تنقل الحركة الدورانية من

الآلات إلى أداة القطع . فى طريقة الحفر المحورى المباشر يتم ضخ سائل الحفر خلال ماسورة الحفر ثم يتدفق السائل إلى أعلا فى المسافة بين الحفر وماسورة الحفر حاملاً معـــه ناتج الحفر عالقاً بسائل الحفر إلى حفرة تجميع سائل الحفر وتدويره بعد ترسيب ناتج الحفر فى حفرة مستطيلة . ثم يعاد ضخ سائل الحفر من نهاية حفرة الترسيب أو من حفرة ترسيب ثانية وقد تستخدم أحواض تجميع فى حالة الآبار الضحلة .

قـــبل عـــام ١٩٢٠ نوع الحفر الدوار الذى يستخدم كان يستخدم القيسون نفسه كماســـورة حفـــر وكانت هذه العملية تسمى الدوار (Whirler) . وكانت النهاية السفلى للقيسون مزودة بنهاية قطع ذات قطر أكبر قليلاً من قطر القيسون . نهاية القطع تعمل علـــى قطـــع وتفتيـــت الـــتربة مع دوران الماسورة . استخدام الماء المضغوط داخل الماســـورة لرفع نواتج الحفر إلى السطح . وكانت تستخدم الطفلة والطمى من الموارد المحلية لقفل الفتحات فى جدار الحفر ولاستمرار التدوير . كانت هذه الطريقة مناسبة لحفر الآبار الصغيرة والضحلة حيث التربة خالية من الكتل الصخرية .

فـــى آبـــار المـــياه يســـتخدم الحفر الدوار نوعين من لقم الحفر وهما الجرافة (Dragbit) (زيل السمكة) وتستخدم فى التربة الغير متماسكة والشبه متماسكة أو قطعة الحفـــر التى تستخدم فى التربة المتماسكة فهى الدوارة أو القمعية شكل (٥/٢، ٥/٣) . تصنع لقم الحفر الدوارة إما من أسنان من الصلب من أشكال مختلفة وفواصل مختلفة وأطـــوال مخـــتلفة ليمكن لكل سنة تشكيل ضغط على نقطة مختلفة من قاع الحفر مع دوران لقمـــة القطع . أسنان الأقماع القريبة من بعضها متداخلة بما يمكن من النظافة الذاتـــية . الأســـنان الطويلة وذات فواصل كبيرة تستخدم فى التربة الطفلية اللينة أما الأسنان القصيرة المتلاصقة تستخدم للتربة الصلبة مثل الدولوميت والجرانيت والبازلت .. الـــخ . لقمـــة الحفر ثلاثية الأقماع (Tricone bit) تستخدم فى كل أنواع التربة . كما توجـــد أشـــكال أخرى من لقم الحفر . سطح القطع للقمة الحفر تسلط عليه نافورة من ســـائل الحفر والذى يعمل على التبريد والتنظيف من نواتج الحفر وفى التكسير وهذا السائل يسلط على لقمة الحفر من داخلها .

يســتخدم موســع (Reamer) لتوفير الاستقامة والنظافة والتوسيع لقطر الحفر ، وهذه عبارة عن مقطع من ماسورة الحفر بطول ٣ إلى ٦,١ متر ذات سطح مقوى من أعصــاب (rib) راســية مقساة أو من فلنجات ملحومة على مقطع قصير من ماسورة الحفر ما بين لقمة الحفر والمثبت (Stabilizer) .

لقمة الحفر تكون متصلة بالنهاية السفلى لماسورة الحفر والتى تمثل عامود إدارة أسطوانى طويل . سلسلة الحفر تتكون عادةً من أربع أجزاء وهى لقمة الحفر ققيز حفر أو أكــثر والذى يسمى المثبت (Stabilizer) وأطوال من ماسورة الحفر ، ماكينة تشغيل على قاعدة ومجموعة حركة التشغيل بالدوران والخفض والرفع لماسورة الحفر وتسمى كيلى (Kelly) شكل (٥/٤) والتى تكون ذات مقطع سداسى أو مربع أو حلزونى .

ومــيزة الحفــر بالدوران المباشر هى سرعة الاختراق فى جميع أنواع التربة بالإضــافة إلى أقل كم من القيسونات أثناء عملية الحفر وكذلك سهولة إنزال المصفاة كجزء من إنشاءات القيسون ولكن التشغيل يحتاج إلى مهارة فائقة وخبرة بالإضافة إلى التكلفة العالية للحفر بهذه الطريقة .

سوائل الحفر :

تنظــيم اســتخدام سوائل الحفر اساسى لتوفير كفاءة الحفر الدوار . يلزم توفر تجــانس بين قطر الحفر ، قطر ماسورة الحفر ، نوع لقمة الحفر ، امكانيات الضخ ، خصائص سائل الحفر طبقاً للظروف الجيولوجية فى موقع الحفر . سوائل الحفر تشمل الهواء والماء النقى ومخلوط من مواد أخرى . استخدام سوائل الحفر يحقق الآتى :

- رفع ناتج الحفر من قاع الحفر إلى السطح حيث حفرة الترسيب المستطيلة .
- تثبيت وسند حائط الحفر ومنعه من الانهيار (Caving) .
- دهان حائط الحفر لخفض الفقر فى السائل .
- تبريد وتنظيف لقمة الحفر .
- يوفر الترسيب لنتائج الحفر فى حفرة الترسيب .
- تشحيم لقمة الحفر ، كراسى التحميل ، طلمبة الطفلة ، ماسورة الحفر .

تعتمد لزوجة السائل وقدرته على حمل ناتج الحفر على عدة عوامل بحيث تكون سـرعة ارتفـاع السائل فى الحفر من ٣٠ إلى ٤٥ متر فى الدقيقة . تزداد قدرة سائل الحفر على حمل الحفر كلما زادت اللزوجة وزادت السرعة .

سائل الحفر يمنع انهيار قطر الحفر بسبب الضغط على السطح الخارجى لقطر الحفـر . طالمـا ان الضغط الهيدروستاتيكى للسائل يزيد عن ضغط التربة فإن قطر الحفر يظل مفتوحاً . الضغط عند اى عمق يساوى وزن عامود سائل الحفر فوق هذه النقطة .

فـى الـتربة الغنـية بالطفلة يمكن بدء الحفر باستخدام المياه النقية الذى يختلط بسرعة مع الطفلة الطبيعية فى فتحة الحفر مكوناً طبقة رقيقة من الطفلة . والماء النقى يستخدم فى هذه الحالة فى الجزء العلوى من قطر الحفر ولعمق حتى ٣٠ إلى ٩٠ متر . وللمحافظـة على الضغط الهيدروستاتيكى واللزوجة المناسبة تتم إضافات إلى سائل الحفر من طفلة ذات نوعية جيدة او بلمرات مخلقة . بعد تمام الخلط لسائل الحفر وتمام تميؤه (hydration) يتم تدويره فى قطر الحفر باستخدام مضخة الروبة (Mud pump) . يـتم اختـيار طاقة الطلمبة بما يحافظ على ثبات سرعة السائل لأعلى وتستخدم لذلك مضخة طرد مركزى او مضخة الكباس (Piston pump) .

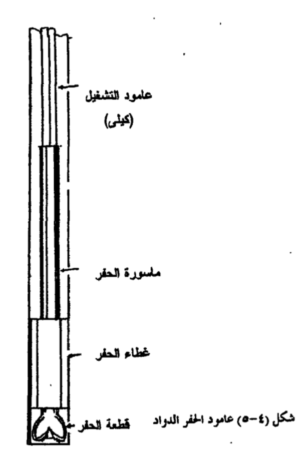


شكل (٢-٥) قطعة الحفر الدوادة





شكل (٣-٥) قطعة الحفر الثلاثية



شكل (٤-٥) عامود الحفر الدواد

الحفر العكسى بالهواء : Inverse drilling

تعتـــبر هذه الطريقة تحديث لطريقة الدوران المباشر ذات الحركة العلوية حيث يضاف الهواء خلال استخدام ماسورة ٦بوصة داخلية وماسورة تخريم بقطر $\frac{٧}{٨}$٥بوصة بهـــا قناة لمرور الهواء.هذه المعدة تسمح ببثق الهواء المضغوط إلى القنوات الهوائية خـــارج ماســورة الـــتخريم ثم إلى سائل التخريم مع تحركه إلى أعلا داخل ماسورة الـــتخريم شـــكل (٥-٥) . وبهذا فإن سائل التخريم وناتج الحفر يتم رفعهم إلى السطح بمساعدة الهواء داخل الماسورة الدليل ٦ بوصة (ماسورة التخريم) .

باستخدام هذه الطريقة يمكن زيادة طاقة التخريم فى حفر آبار ذات قطر كبير . حيـــث يمكن عمل قطر حفر حتى ٢٠ إلى ٣٠ بوصة بطريقة روتينية كما يمكن عمل عمق حفر أكبر من ٣٠ غلى ٦٠ متر فى التربة الغير متماسكة . الأقطار أقل من ١٢ بوصة لا يوصى بحفرها نظراً لأن القطر الخارجى لماسورة الحفر هو ٩ بوصة .

ضـــغط الهواء المستخدم هو ١٢٥ رطل على البوصة المربعة بمعدل ٠,١ متر مكعـــب فى الثانية . عند هذا الضغط يكون اقصى عمق لعامود الحفر هو ٧٦,٢ متر وفـــى حالة زيادة العمق يتم تجهيز ماسورة الحفر ذات القنوات الهوائية فوق ماسورة الحفـــر التقلـــيدية حـــتى اى عمق أكبر من ٧٦ متر . تستخدم فى هذه الطريقة طلمبة الطرد المركزى طلمبة المكبس (Piston Pump) ذات قطر وطول المشوار٣×٤ أو ٥× ٦ .

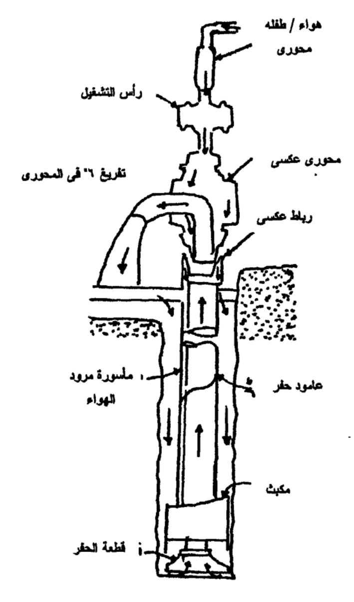
مميزات طريقة الحفر العكسى بالهواء هو امكان الحفر بأقطار كبيرة والسرعة العالـــية للاخـــتراق فى التربة الغير متماسكة واستخدام سائل الحفر لرفع ناتج الحفر وزمـــن التنمية قليل أما سلبياتها فهى زيادة التكاليف وزمن الحفر كبير فى حالة الآبار العميقة .

الحفر بالبثق [التدفق] : Jet Drilling

توجد طريقتين لإنشاء الآبار باستخدام تيار ماء عالى السرعة فى خطة الحفر . أحـــد هذه الطرق هو بنظام النقر ببثق تيار ماء (Jet Percussion System) للحفر حيث

أنه يمكن استخدامها لحفر أقطار محدودة من ٣-٤ بوصة ولعمق حتى ٦١ متر . أما الآبار ذات الأقطار الكبيرة ولعمق أكبر من ٦١ متر تستخدم لها طرق أخرى .

أدوات الحفـــر فـــى نظام النقر ببثق تيار الماء تتكون من قطعة حفر فى شكل أزمـــيل (Chisel) مثبتة فى الجزء السفلى لماسورة الحفر . الثقوب على اجناب قطعة الحفر تعمل كنافورة لضغط المياه (بثق) والذى يحافظ على نظافة قطعة الحفر وفى الوقت نفسه العمل على تفكك التربة الجارى حفرها . تضخ المياه تحت ضغط متوسط إلـــى مرتفع خلال ماسورة الحفر إلى خارج لقمة الحفر . ماء الحفر عندئذ يتدفق إلى أعـــلا فى الفراغ المحيط بماسورة الحفر ، حاملاً معه ناتج الحفر فى شكل مواد عالقة إلـــى سطح الأرض حيث يتدفق فى حفرة ترسيب أو أكثر لترسيب المواد العالقة . يتم ســحب المـــياه مرة أخرى بواسطة طلمبة سحب (Suction) وتدويرها خلال ماسورة الحفـــر . نظام دورة السائل يشبه الحفر المباشر بالدوران . مع استمرار تدوير المياه فـــإن قطعة الحفر والقضبان ترفع وتسقط مثل حالة الحفر بالكابل ولكن المشوار أقل . القيسون المجهز بقدمه دفع يسقط مع تقدم الحفر . يتم استخدام إضافات لسائل الحفر . تســتخدم هـــذه الطريقة لحفر الآبار ذات الأقطار الصغيرة فى التربة الحاملة الرملية وكذلك التربة شبه المتماسكة وكذلك المتماسكة إلى حد ما .



شكل (٥-٥) الحفر العكسى بالهواء

نـــوع آخـــر من الحفر باستخدام مواسير ذات قطر صغيرمستقد له قاع مفتوح ليمكن غوصه فى الرمال باستخدام غسيل المياه بدون أى وسيلة حفر .

وهناك طرق أخرى كثيرة لحفر الآبار ولكن الشائع منها فى مصر هى الطرق الآتية :

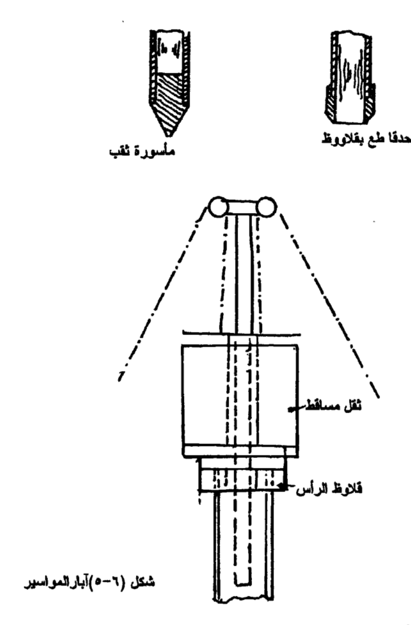
١- الطريقة اليدوية :

وهــذه الطريقة هى الشائعة فى مصر وتستعمل فى حفر الآبار التى لا يزيد قطرها عن ٨ بوصة وإلى عمق حوالى ٨٠ متر من سطح الأرض .فى هذه الطريقة تســتخدم طــريقة القيسونات المتداخلة على أن يكون قطر القيسون الأخير أكبر من قطــر الحفــر بما لا يقل عن ٦ بوصة وذلك لإمكان تنفيذ الغلاف الزلطى قبل رفع القيســون . يتم خفض قطر القيسون بحوالى بوصتين بعد كل حفر بعمق ٣٠ ــ ٤٠ متر شكل (٦-٥).

تستخدم فى الحفر البريمة القلاووظ فى حفر التربة الطينية المتماسكة والبلف فــى حفــر التربة الرملية وهذا البلف يسمح بدخول ناتج الحفر إلى داخله ولا يسمح بخزوجه .

ويستعمل وصلة التكسير فى تفتيت التربة الصلبة التى تعيق استمرار الحفر . بعــد امتلاء البريمة أو البلف بناتج الحفر ترفع إلى خارج قطر الحفر لتفريغها ثم يعاد إنزالها بعد زيادة طولها بخط المواسير لاستمرار وزيادة عمق الحفر. بعد الوصول إلى العمــق المطلــوب يتم إنزال مواسير البئر داخل قطر الحفر وذلك عند سحب قيسون الحفــر تدريجــياً إلى أعلا . يملأ الفراغ الخارجى بين جدار الحفر ومواسير السحب للبــئر والمصــافى وذلك بالزلط الفينو حول المصافى تعلوه طبقة من الرمل النظيف الخشن بطول ١ متر تعلوها طبقة من المونة الأسمنتية حول السطح الخارجى لماسورة السحب للبئر وذلك لمنع وصول الملوثات من المياه السطحية إلى المياه الجوفية .

وعادةً لا يزيد معدل الحفر اليومى بالطريقة اليدوية عن عشرة أمتار وهذا من أهم عيوب هذه الطريقة .



شكل (٦-٥)آبار المواسير

١- طريقة الحفر بالدق:

تستخدم هذه الطريقة في حفر الآبار التى يتراوح قطرها بين ٨ إلى ١٥ بوصة والتى يصل عمقها حتى ١٠٠ متر ويستعان فيها بآلات البكر والقص والونش . وهذه الطـــريقة تشـــبه طريقة الحفر اليدوية من حيث القيسونات حيث يستعمل بلف يناسب القطـــر الخــــارجى للقيسون المستخدم وقاعه من خوص الصلب المتعامدة وذات حافة حادة تستطيع بمعاونة ثقلها أن تخترق الطبقة الطينية وتفتتها وتحولها إلى روبة والتى

تــرفع بــبلف آخر لعدم الرجوع (حيث تدخل الروبة ولا تخرج) ثم يستكمل العمل بنفس الطريقة المتبعة فى الحفر اليدوى .

تغويص الآبار :

ويشمل الآبار ذات الأقطار الكبيرة والآبار ذات المواسير .

الآبار ذات الأقطار الكبيرة :

تنشأ الآبار ذات الأقطار الكبيرة (Dug Wells) بالحفر وإخراج الناتج ، وتبطن غالــباً إما بمبانى من الطوب أو بحديد الزهر أو الفخار المزجج وذلك لمسافة حتى ٣ متر تحت سطح الماء . وعند تبطينها بالطوب يراعى ألا يقل السمك عن طوبة واحدة وبمونة قوية من الأسمنت ، ويكون الطوب بطبقات طولية وعرضية بالتبادل .

تغويص الآبار ذات الأقطار الكبيرة :

وهــى الطــريقة الأكــثر استعمالاً فى تغويص الآبار .حيث يتم حفر جزء من الأرض أولاً بمســاحة البــئر وتوضع داخله خنزيرة مستديرة من الخشب القوى ، أو الحديد أو الصلب بالمقاس والسمك اللازم للبطانة . ولها حافة رأسية بالداير الخارجى . وأحــياناً يتم عمل الخنزيرة من الخرسانة المسلحة والحديد بدلاً من الخشب وتكون ذات حد قاطع ويتم تسويتها أفقياً بعناية ثم توضع المبانى من الطوب فوقها حتى تصل بهــا إلــى الســطح . يــراعى وضع الطوب فى طبقات أفقية ليمكن التحميل المنتظم للخــنزيرة وذلك مع بياض حوائط البئر من الخارج لتقليل الاحتكاك عند التغويص . يســتمر البناء إلى أن يصل إلى عدة أقدام فوق سطح الأرض ثم يحفر داخل البئر إلى عمق يتراوح ما بين ٢-٣ قدم بكامل المساحة الداخلية للبطانة ، حيث تصبح الأخيرة محملة بالاحتكاك على الجوانب وعلى الأرض التى تحتها ، يراعى إزالة التربة تحت الخنزيرة بعناية حتى تنزل الخنزيرة وما فوقها من مبانى إلى مستوى الحفر .أثناء ذلك يــتم البناء بالطوب الذى يساعد بثقله على إنزال الخنزيرة والمبانى إلى أسفل . يجب العــناية بإجراء هذا التغويص بانتظام حتى يسهل إنزال البئر رأسياً ، كما يجب الحفر على طبقات قليلة العمق . فى حالة انهيار جوانب الحفر أثناء التغويص عندئذ يتم ملئ

الفــراغات الســفلى الــتى قد توجد حول المبانى بالخرسانة مع دكها جيداً وذلك عند الانتهاء من عملية التغويص . قد تكون المبانى من الخرسانة المسلحة وتربط الخنزيرة فى المبانى الطوب بجوابط رلأسية عبارة عن أسياخ تسليح قطر ١/٢ أو ٣/٤ بوصة علــى مســافة حوالى المتر من بعضها فى داير البئر ، وطول الأسياخ ٥ متر تربط بمدماك كامل من الخرسانة سمكه حوالى ٠,١٥ إلى ٠,٢ متر ، ومنه تبدأ أسياخ رأسية أخــرى مشــابهة لسابقتها بين مداميك الطوب . وقد تستعمل مواسير حديدية بدلاً من المبانى الطوب وتكون بأطوال ٦ قدم ، يتصل بعضها ببعض بأطواق داخلية ومسامير مقلوظــة . بذلك يبقى السطح الخارجى أملس بما يسمح بالإنزال خلال التربة . يكون لهذه المواسير نهاية سفلية حادة ليسهل اختراقها للتربة . فى حالة عدم هبوط الماسورة يــتم تحميلها بوضع طبلية على أربع كمرات طولية من مقاس كبير وثمانية عرضية لتوزيع حمل الطبلية ثم تحمل الطبلية بأكياس الرمل لتغويص البئر أثناء الحفر داخلها .

أحياناً توضع فتحات جانبية فى داير البئر فى المبانى السفلى بطول ١٠ أو ١٥ مــتر (Pigeon Holes) تكــون مفتوحة النصف طوبة الخارجية والتى تستمر فى جميع المحــيط الخــارجى . تبنى النصف طوبة الخارجية بمونة أسمنتية خفيفة تساعد على مرور المياه فى العراميس حول البئر لتصل إلى الفتحات الموصلة إلى داخل البئر وفى هــذه الحالــة لا يقل سمك البئرعن طوبتين أو طوبة ونصف .يلاحظ سد الفتحات من الداخل بقطع خشبية ملفوفة بقلفاط مقطرن يزال بعد الإنتهاء من تغويص البئر وإتمام العمل .

ولــزيادة التصرف توضع مصافى أفقية عددها حوالى ١٢ قطر كلٍ منها ٣-٤ بوصــة فى داير البئر ومن أسفله لمسافات مناسبة لزيادة إيراد البئر . فى هذه الحالة يجب ألا يقل قطر البئر عن ٤ متر لإمكان استخدام جهاز ضغط المواسير والمعروف باسم (Ramney) . ويكون القاع أصم اعتماداً على المدادات ذات المصافى . يبلغ إيراد المــاء اليومى من بئر بقطر ٤ متر حوالى ٩٠ ألف متر مكعب .بعد إتمام نظافة البئر توضــع بداخله فرشة زلطية (زلط فينو) لتحافظ على عدم نزح الأرضية مع المياه وعدم حدوث تصدعات للبئر .

الآبار ذات المواسير :

الآبار ذات المواسير تنشأ عادة بدق مواسير حديدية رأسياً من سطح الأرض ، وتستعمل أدوات تخريم خاصة مع إخراج الناتج إلى السطح .تغوص هذه الآبار إذا كانت بقطر صغير بالطاقة الناتجة عن سقوط ثقل من المواسير الموصلة رأسياً شكل (٦-٥) والتى أما أن تكون ذات نهاية صماء مدببة الطرف فى حالة المواسير ذات الأقطار ٣ بوصة فأقل أو ذات قاطع مستدير ومجوف . وفى كلتا الحالتين الجزء الأسفل من المواسير على ثقوب عديدة لإدخال الماء من الطبقة الحاملة . يجرى تغويص المواسير فى الأرض بسقوط ثقل يرفع على حامل ثم يسقط على رأس الماسورة (المقلوظة) والتى فى نهايتها العلوية طاقية لوقايتها من تأثير الدق. تستخدم مواسير من الصلب بوصلات مقلوظة بأطوال من ٦ قدم وقطر ٤ بوصة عادةً . يتم إنزالا لماسورة أولاً بالدق ثم تزال المواد من داخلها إلى المواسير ذات الأقطار أكبر من ٢ بوصة بواسطة أدوات خاصة بذلك والتى تتصل بقضبان مربعة من ١ -٢ بوصة بواسطة القلاووظ وكذلك تستخدم هذه الأدوات لأقطار المواسير أكبر من ذلك . وبإزالة المواد من داخل الماسورة يمكن أخذ عينات من التربة وعينات من المياه على أعماق مختلفة ويكون لكل بئر سجل خاص (Well Log) . تكرر عملية الدق بعد تنظيف المواسير من الداخل . عند مصادفة المواسير ذات الطرف السفلى المدبب عند نزولها لتربة صلبة ، عندئذ يتم سحب الماسورة للخارج وإعادة دقها مع تكرار ذلك حتى يمكن تكسير الجزء الصلب وإنزال الماسورة .فى حالة الماسورة ذات الحرف السفلى القاطع الأجوف يتم تكسير الأرض الصلبة بإنزال أدوات تكسير الصخر داخل الماسورة . تجهز أدوات التنظيف فى حالة التعامل مع الأراض المبتلة بصمامات قدم (FootValve) لمنع سقوط الأتربة منها عند رفعها لأعلى .

وتستخدم آلات على عربات متحركة مجهزة بصارى الذى يطوى أثناء سير العربة ، وفى موقع العمل يرفع لتعليق البكرة والحبال الخاصة بدق البئر والتى تصنع من أسلاك الصلب المجدول والذى يساعد على دوران الحبل دورة خفيفة فى كل دقة بما يعمل على انحراف قطعة التكسير انحرافاً بسيطاً فى نفس الاتجاه بما يعمل على

انتظام الحفر والتكسير .

يجب أن يكون الدليل رأسياً تماماً والذى هو عبارة عن ماسورة قيسون تستعمل دليلاً لخط الحفر المدلى من صارى الماكينة .

ويــبدأ تشغيل خط الحفر مع تغيير معدل الضربات فى الدقيقة وطول المشوار الذى يصله فى كل ضربة وذلك بالتحكم فى الذراع المتحرك لآلة الحفر . يتراوح عدد الضــربات مـــا بيــن ٢٥ ، ٦٥ فى الدقيقة الواحدة تبعاً لنوع الطبقة التى يعمل فيها الكاسور. تستعمل عملية الدق وإطالة حبل الحفر ثم إزالة المواد المفتتة وهكذا إلى أن يصل البئر إلى العمق المطلوب .

الآبار ذات القيسون :

يستعمل القيسون لتغويص الآبار وهو عبارة عن مواسير من الصلب بطول ٣-٥ متر ولها وصلات عبارة عن صلب مقلوظة وتكون بقطر يزيد ٤ بوصة عن القطر الخارجى لماسورة السحب . يتم تغويص القيسون رأسياً بطريقة التحميل والحفر داخله بــأدوات حفــر أو بطــريقة الدق على طاقية خشبية تركب على المواسير أثناء الدق والحفر داخلها .

يتم إنزال القيسون بطريقة شائعة الاستعمال لبساطتها وهى أن يتم عمل حفرة ٢ ×٣ مــتر وبعمق ٢-٣ متر طبقاً لما يسمح به عمق مياه الرشح والطبقة الصلبة التى تــتحمل الدكم والكمرات الحديدية وتثبيتها وتركيب القلاووظ قطر ٢ بوصة (الفتيل) وبواسطة الجلب والصواميل يمكن الضغط على القيسون للتغويص حتى ٤٠-٩٠ طن

وكــذا يمكــن عكس الاتجاه للفتيل للرفع وذلك للضغط على الدكم العلوية لرفع القيســون وللحفر داخل القيسون بواسطة إنزال البلف (Shell) . البلف قطعة أسطوانية حافــتها الســفلى لولبية حادة وعند إنزالها تغرز فى التربة حيث تدخل داخلها المواد الطينــية أو الرملية ، وبتكرار هذه العملية تمتلئ الأسطوانة ثم ترفع لتنظيفها وتكرر العملــية حــتى يصل الجزء المحفور إلى منسوب حوالى ٥٠ سم تحت منسوب أسفل القيسون ، عندئذ يضغط على القيسون بالفتيل القلاووظ ثم يتم تكرار هذه العملية حتى

يصل القيسون إلى العمق المطلوب .

ويراعى أخذ عينات من التربة أو الماء أثناء التغويص وذلك عند عمق كل متر أو عـند التغير فى التربة أو عند العثور على طبقة صخرية يستعمل الكاسور (Cross Chisel) للتكسير ثم تزال المواد بالبلف .

وتسـتعمل أحـياناً طريقة التحميل بأكياس الرمل لمساعدة القلاووظ فى ضغط القيسون .قبل رفع القيسون يتم إنزال المصفاة ثم ماسورة السحب (الغير مثقبة) ثم يتم الـبدء فـى رفـع القيسون بالرفع بضغط القلاووظ (عفريتة) . يتم ملئ الفراغ حول المصفاة بالظهير الزلطى النظيف والمعقم . يلى ذلك إنزال طبقة من الطين الأسوانلى لمنع مرور المياه السطحية إلى الظهير الزلطى . ومع سحب القيسون يملأ الفراغ حول ماسورة السحب بالمونة الأسمنتية لمنع مرور المياه السطحية الملوثة .

واحـياناً تسـتعمل المثاقـب اللفافة وهى أسرع وأقل فى التكاليف حيث تصل السـرعة إلـى ٢٠-٤٠ لفـة فى الدقيقة طبقاً لنوع الصخر ولا يتجاوز الضغط على القاطع أكثر من ١/٢ طن.

ولـزيادة الإيراد من المياه من الآبار يتم إنشاءها على خط عمودى على اتجاه سير المياه الجوفية .

الفصل السادس

هيدروليكا البئر الجوفى

Well Hydraulics

٦

١- مقارنة كمية بين المياه الجوفية والسطحية :

نظــراً لأن المياه من المصادر المسطحية ترى بالعين فإنه من الطبيعى اللجوء إليها عند الحاجة إلى المياه . فى الواقع فإن مياه المجارى والبحيرات العذبة على سطح الكرة الأرضية لا يزيد عن ٣% أما المياه الجوفية فإنها تشكل ٩٧% من إجمالى المياه العذبــة علــى ســطح الأرض . ولكن ليس كل المياه الجوفية يمكن سحبها من التربة الحاملة فبعضها يقع فى تكوينات صخرية عميقة بما يجعل تكلفة ضخها كبيرة وبعض أنــواع الــتربة الحاملة تقاوم سحب المياه بدرجات مختلفة . ولذلك لا تحقق المقارنة الكمية بين المياه السطحية والحوفية مؤشر حقيقى للموارد المائية ، وإن كان يشير إلى حقيقة أن الموارد المائية الجوفية أكثر عدة مرات من الموارد السطحية المتاحة .

٢- مبادئ هيدرولوجية :

لتفهم المياه الجوفية وتواجدها يتطلب دراسة التوزيع الرأسى للمياه فى التكوينات الجيولوجــية للــتربة . القشرة الخارجية لسطح الأرض عادة مثقبة لدرجات كبيرة أو صغيرة وهذا الجزء يسمى منطقة تفتت الصخور . الثقوب أو الفتحات فى هذا الجزء قد تكون ممتلئة بالماء كلياً أو جزئياً .الجزء العلوى حيث الفتحات ممتلئة جزئيا بالماء تسمى منطقة التهوية . وأسفل هذا الجزء مباشرة حيث كل الفتحات ممتلئة تماماً بالماء توجد منطقة التشبع شكل (١-٦) .

مصــادر المــياه الجوفــية إلى التربة هو بتسرب مياه الأمطار والسيول ومياه الأنهــار والــترع والمصارف والبحيرات ومياه رى الأراضى الزراعية خلال مسام الــتربة إلى باطن الأرض حيث تمر المياه خلال منطقة التهوية إلى منطقة التشبع ثم تستقر حركة المياه الرأسية عند وصولها طبقة من التربة غير مسامية وصماء ، عندئذ يــتم حجــز المياه . تعتبر المنطقة ما بين الطبقة الصماء ومنطقة التهوية هى منطقة الخزان الجوفى أو المياه الجوفية . وقد توجد المياه الجوفية بصورة أخرى فى منطقة أعلاهــا وأســفلها صــماء حيث تغذى عن طريق تعرض أجزاء لهذه المنطقة لسطح

الأرض أو عن طريق اتصال هذه المنطقة بخزانات جوفية أخرى .

المـــاء فـــى منطقة التشبع هو الذى يسمى بالمياه الجوفية . تعتبر منطقة التشبع خـــزان طبـــيعى ضـــخم (أوعدة خزانات) طاقته هى حجم الفراغات فى التربة أو الفتحات فى الصخور الممتلئة بالمياه . وتوجد المياه الجوفية فى شكل كتل مائية متصلة أو عـــدة تجمعات مائية منفصلة . يتحدد سمك طبقة التشبع بالتكوين الجيولوجى للتربة وتوفر الفراغات والمسام وإعادة الملئ أو التغذية لطبقة التشبع وحركة المياه وانتقالها مـــا بين نقطة السحب للمياه (الآبار) وأماكن التغذية لطبقة التشبع والتى تسمى كذلك التربة الحاملة للمياه (Water Bearing Formations) . تسمى طبقة التشبع كذلك بالخزان الجوفـــى (Aquifer) . الســـطح العلـــوى لطبقة التشبع يسمى خط المياه أو خط النطاق المـــائى (Water Table) وهو المستوى حيث تكون التربة أسفله مشبعة بالمياه . يتحكم فى شكل خط المياه طبوغرافية الأرض .

توجد المياه فى مسام الطبقة المشبعة عند الضغط الجوى كما لو كانت فى خزان مفـــتوح . الضـــغط الهيدروليكى عند أى مسافة أسفل خط المياه للتربة الحاملة للمياه الجوفية يساوى المسافة من خط المياه فإذا كانت المسافة من خط المياه حتى ٥٠ متر فـــى الـــتربة الحاملة أسفل خط المياه عندئذ تكون المياه الجوفية عند ضغط استاتيكى يساوى ٥٠ متر (٥ ضغط جوى) .

فى بعض الحالات تكون طبقة التشبع فى منسوب أعلا من خط المياه وذلك عند إعاقة طبقة صماء شكل (٢-٦) . خط المياه ليس ثابتاً ولكنه يتحرك من آن لآخر إلى أسفل أو إلى أعلا حيث يرتفع عند زيادة المياه المضافة لمنطقة التشبع بالرشح والنفاذية ويـــنخفض عند السحب للمياه بالآبار والعيون والمجارى المائية ... الخ . عند وجود طبقة التشبع بين طبقات صماء فوقها وأسفلها فإن المياه فى هذه الحالة تكون محتجزة ويســـمى الخـــزان الجوفـــى بالخزان الحوفى المحصور (Confined Aquifer) والطبقة الحاملـــة المحصورة تكون غير معرضة للضغط الجوى والمياه عندئذ تكون معرضة لضغط أكبر من الضغط الجوى وتسمى المياه الارتوازية وتسمى طبقة التشبع بالطبقة

الارتوازية (Artizian Aquifer) شكل (٣-٦) .

٣- التربة الحاملة للمياه الجوفية او الخزان الجوفى :

تقــوم التربة الحاملة بوظيفتين هما التوصيل والتخزين فهى تعمل كخزان للمياه وكخــط مواســير لــنقل المياه .المياه الجوفية دائمة الحركة لمسافات تمتد من مناطق الــتغذية إلــى مــناطق السحب أو الصرف . حركة المياه الجوفية بطئية جداً وتقاس ســرعتها بالســنتيمتر فى اليوم أو بالمتر فى العام . سعة التخزين للتربة تتوقف على عامليــن هما المسامية والتصرف النوعى للتربة (specific Field) . المسامية هى حجم الفراغات فى التربة وهى دلالة لكمية المياه التى تخزن فى منطقة التشبع . فعند احتواء مــتر مكعــب من التربةعلى ٠,٣ متر مكعب فراغات ومسام تكون المسامية فى هذه الحالة ٣٠% . المسامية لا تعطى دلالة على التصرف النوعى للمياه من التربة الحاملة . عند سحب المياه من تربة مشبعة فإن ما يتم الحصول عليه هو جزء فقط من المياه الموجــودة فى المسام وكمية المياه المحتجزة بعد السحب تسمى فى هذه الحالة الحجز الــنوعى (Specific Retention) .يعــبر عن كل من التصرف النوعى والحجز النوعى بنسبة مئوية أو كسر عشرى .

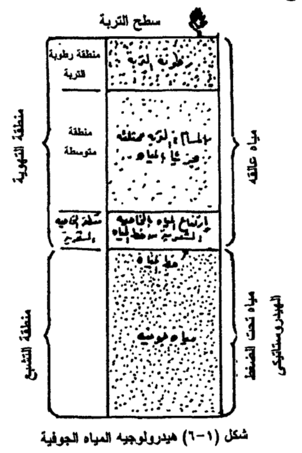
عــند سحب ٠,١ متر مكعب ماء من ١ متر مكعب من التربة الرملية المشبعة فــإن التصرف النوعى للرمال تكون ٠,١ أو ١٠ % شكل (٦) . وبفرض أن مسامية التربة الرملية هى ٣٠% فإن الحجز النوعى يكون ٠,٢ أو ٢٠% .

خــزان جوفــى على مسافة ٤٠ كم^{٢} ومتوسط سمك الخزان الجوفى ٤٠ متر . إجمــالى حجم الخزان هو ١٦×١٠^{٨} م^{٣} . وعندما تكون النفاذية ٢٥% فإن حجم المياه فــى الخــزان الجوفــى يكون ٤×١٠^{٨} م^{٣} . إذا كان معامل السحب هو ١٠% وحدث انخفــاض فى منسوب المياه الجوفية لمسافة ٢ متر نتيجة السحب من الخزان الجوفى بآبــار جوفية . فإن حجم المياه التى تم سحبها يكون ٢×١٠^{٦} م^{٣} . وهذه الكمية يمكن سحبها باستخدام ثلاث آبار طاقة كل بئر ٤٠ لتر فى الثانية لمدة ١٢ ساعة يومياً لمدة تــزيد عن عام (٣٨٥ يوم)وذلك فى حالة عدم التغذية للخزان الجوفى . وهذا يوضح

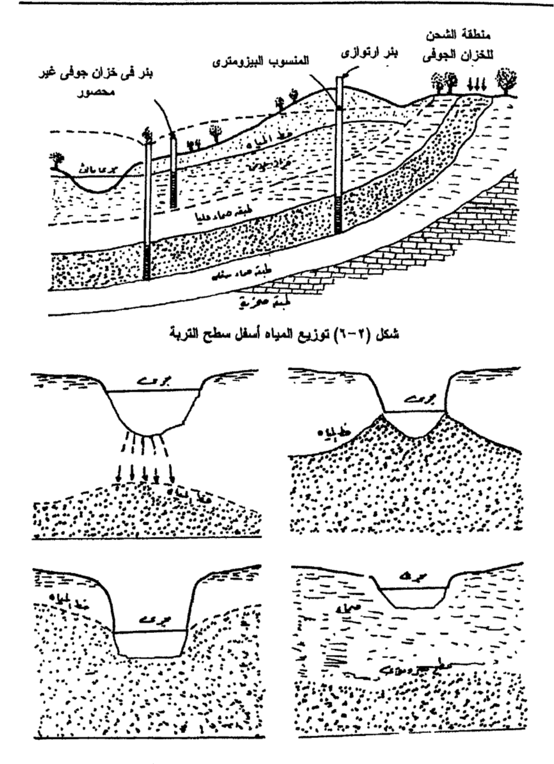
كــيف أن الخزان الجوفى يمكن استخدامه بمعدل ثابت وخاصة فى حالة استخدام بئر واحــد سوف تكفى هذه الكمية لمدة ثلاث سنوات ويكفى الخزان الجوفى لمدة ٤٠ سنة عــند اســتخدام ٣ آبار ، ١٢٠ سنة عند استخدام بئر واحد . وفى الواقع فإن الخزان الجوفى يتم تغذيته فى المصادر المختلفة كما سبق توضيحه .

٤- النفاذية : Permeability

خاصــية الــتربة الحاملة للمياه العالقة بدورها كخط مواسير لنقل المياه تسمى الــنفاذية وهى قدرة المجال المسامى فى نقل المياه .تحدث حركة للمياه من نقطة إلى أخرى عندما يوجد فرق فى الضغط الرأسى بين نقطتين . يمكن قياس النفاذية لمادة فى المعمــل بملاحظة انتقال المياه خلال عينة من الرمل فى زمن محدد فى ظروف فرق فى الضغط الرأسى .

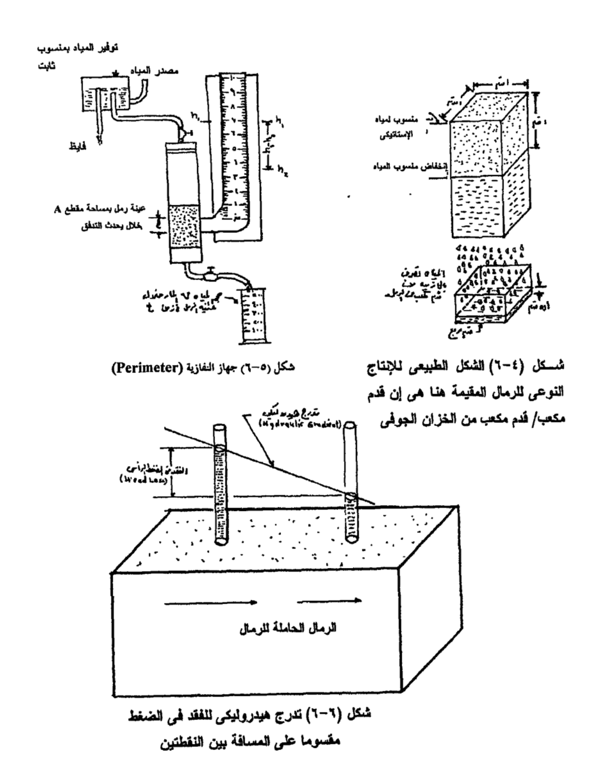


شكل (١-٦) هيدرولوجيه المياه الجوفية



شكل (٢-٦) توزيع المياه أسفل سطح التربة

شكل (٣-٦) التداخل بين المياه السطحية والجوفية



شكل (٦-٥) جهاز النفازية (Perimeter)

شـكل (٦-٤) الشكل الطبيعى للإنتاج النوعى للرمال المقيمة هنا هى إن قدم مكعب/ قدم مكعب من الخزان الجوفى

شكل (٦-٦) تدرج هيدروليكى للفقد فى الضغط مقسوما على المسافة بين النقطتين

قاعدة دارسى (Darcy's law) :

أوضـــحت قاعدة دارسى أن تدفق المياه خلال عامود من الرمل المشبع بالمياه شـــكل (٤-٦) ، (٥-٦) يتناســـب طردياً مع الفرق فى الضغط الهيدروليكى لكل من نهايتى العامود ويتناسب عكسياً مع طول العامود ومازالت هذه الطريقة تستعمل لتعيين تدفقات المياه الجوفية .

حجم التدفقات فى قاعدة دارسى تكتب كالآتى :

$$Q = VA = PIA \quad (1)$$

حيث Q = معدل التدفق فى وحدة الزمن .

A = مساحة مقطع التربة الذى تتحرك خلاله المياه .

V = سرعة المياه .

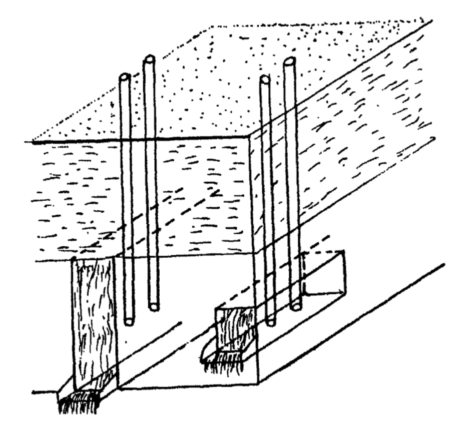
P = معامل النفاذية .

I = فرق الضغط .

ويـــتوقف معـــامل النفاذية لمسام التربة على حجم حبيبات التربة وتوزيعه فى الـــتربة الحاملة وعلى طبيعة وشكل الشقوق والمسام . معامل النفاذية هو كمية المياه التى تنتقل خلال وحدة المساحة من مقطع التربة المسامية فى وحدة الزمن تحت فرق ضغط رأسى يساوى واحد وعند درجة حرارة معينة .

حساب التدفق الكلى :

أوضحت معادلة دارسى أن معدل انتقال المياه فى التربة الرملية المشبعة يتغير بفعـــل الضغط . عند مضاعفة فرق الضغط فى تربة رملية يتضاعف معدل التدفق ، عـــند الـــتدفق المنتظم والذى عادة ما يكون عند السرعات البطئية . ولكن فى معظم الحالات يحدث التدفق الغير منتظم أو المضطرب عندئذ لا يزداد معدل التدفق أكثر من ١,٥ ضـــعف . فـــرق الضـــغط هـــو الميل لخط المياه أو الميل للسطح البيزومترى (Hdraulic Gradient) الذى عنده تحدث الحركة للمياه الجوفية شكل (٦-٦) .



شكل (٧-٩) مخطط لتصور معاملات النفازية والأنتقال . معامل النفازية مضروبا فى سمك الخزان الجوفى يساوى معامل الانتقال

فى عام ١٩٣٥ قام العالم (Theis) بدمج العلاقة بين معامل النفاذية وسمك الطبقة الحاملة كمصطلح واحد لتقدير معدل التدفق .

$$q = PMI \qquad (2)$$

حيث :

Q = التدفق خلال كل قدم من عرض الخزان الجوفى .

P = متوسط معامل النفاذية للتربة من أعلا إلى أسفل الخزان الجوفى .

M = سمك الخزان الجوفى بالقدم .

I = فرق الضغط (التدرج فى الضغط الرأسى) .

ثم استخدم ثيس (Theis) بضرب P فى M لتوضيح قدرة الماء على الانتقال لكل سمك الخزان الجوفى . وقام بتعريف معامل الانتقال للماء (Water Transmitting)

(T) لأى مقطع عمودى فى الخزان الجوفى بالمعادلة

$$Q = TIW \quad (٣)$$

حيث T = معامل الانتقال للماء (Coeffient Of Transmissivity)

I = فرق الضغط

W = عرض المقطع الذى يحدث التدفق خلاله شكل (٧-٦) .

يمكـــن تعيين معامل الانتقال فى الموقع من اختبارات ضخ البئر وبهذا الاختبار العملى أمكن التغلب على القيم التقديرية المعملية لمعامل النفاذية .

هيدروليكا البئر الجوفى :

البـــئر الجوفـــى منشأ هيدروليكى وعند التصميم والتنفيذ الجيد للبئر فإنه يوفر السحب الاقتصادى للمياه من التربة الحاملة للمياه . وذلك يتوقف على :

- المهـــارة فـــى تطبـــيق المبادئ الهيدروليكية عند تحليل دراسة البئر وكفاءة الطبقة الحاملة للمياه .
- المهارة فى الحفر وإنشاء البئر بما يحقق أقصى فائدة من الظروف الجيولوجية .
- اختيار مواد الإنشاء التى تتحمل لمدة طويلة .

طبيعة التدفق من التربة :

عـــند بدء الضخ فإن منسوب المياه القريب من البئر ينخفض . أقصى انخفاض يكـــون عـــند البئر . الانخفاض يقل كلما بعدنا عن البئر ، وعند مسافة ما توجد نقطة حيـــث منســـوب المياه لا يتأثر . وهذه المسافة تختلف لمختلف الآبار . وتتغير كذلك لنفس البئر طبقاً لمعدل الضخ وزمن الضخ .

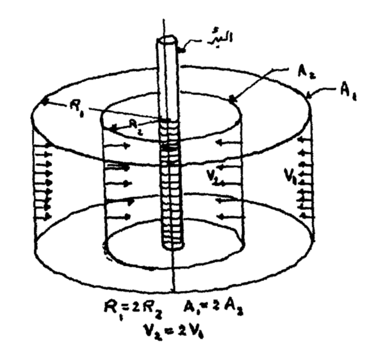
منســـوب المياه فى البئر الجارى السحب منه يكون أكثر انخفاضاً عن أى مكان فـــى التربة الحاملة المحيطة به ، لذلك فإن المياه تتحرك من التربة الحاملة إلى البئر لتعويض المياه التى تم سحبها عند الضخ من البئر . القوة أو الضغط الذى يدفع المياه نحـــو البئر هو فرق الضغط الرأسى ما بين منسوب المياه داخل البئر ومنسوب المياه

فى أى مكان خارج البئر .

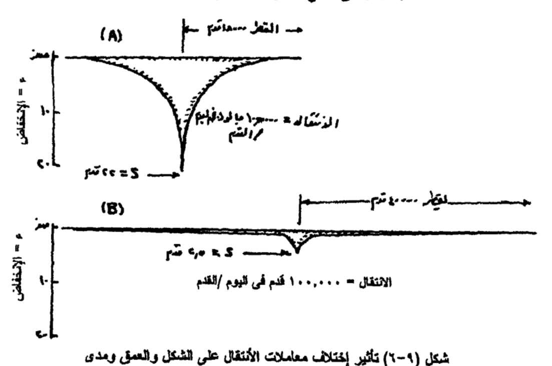
تتدفق المياه خلال التربة الحاملة للخزان الجوفى من كل اتجاه نحو البئر . ومع تحـــرك المياه أقرب إلى البئر ، فإنها تتحرك خلال مقاطع اسطوانية متتالية والتى تقل ثم تقل مساحتها . ولذلك فإن سرعة المياه تزداد عند قربها من البئر ، فى الشكل (٦/٨) A_1 تمـــثل مساحة سطح اسطوانى ٤٠ متر بعيداً عن مركز البئر ، A_2 تمثل مساحة لســـطح مشابه على مسافة ٢٠ متر من مركز البئر ، يلاحظ أن A_1 ضعف A_2 . ولكن نفس كمية المياه هى التى تتحرك نحو البئر الجارى الضخ منه خلال المساحات A_1 و A_2 ولذلـــك فـــإن السرعة V2 يجب أن تكون ضعف السرعة V1 . ولقد أوضح قانون دارسى أنه عند التدفق خلال وسط مسامى فإن الفرق فى الضغط الهيدروليكى يتناسب طردياً مع السرعة، مع زيادة السرعة فإن فرق الضغط يزداد ميله نحو البئر . وشكل هـــذا السطح يشبه شكل القمع والذى يعرف بقمع الانخفاض . عند ضخ المياه من أى بئر فإنه يحاط بمثل هذا القمع ، والذى يختلف فى الشكل والحجم طبقاً لمعدل الضخ ، وزمـــن اســـتمرار الضخ وخاصية الخزان الجوفى وميل خط المياه والتغذية ، منطقة التأثير للبئر .

إقماع الانخفاض : (Cones Of Depression)

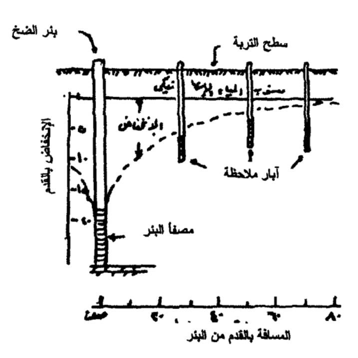
شـــكل (٩-٦) يوضح قمعى انخفاض حول بئر جارى الضخ منه الذى يوضح كـــيف أن معامل الانتقال للخزان الجوفى يؤثر على شكل قمع الانخفاض . ففى التربة الحاملة ذات انتقال منخفض يكون القمع عميق وله قاعدة صغيرة وأجنابه تكون منحنية . ولكـــن فى التربة الحاملة ذات انتقال عالى فإن القمع يكون ضحل وله قاعدة كبيرة وأجنابه ذات ميول مستوية . كمية منسوب المياه أو الضغط السطحى تكون منخفضة فى قاعدة القمع وفى البئر نفسه وتسمى بالانخفاض عند هذه النقطة .



شكل (٨-٦) التدفق يتوجه نحو البئر حيث يمر خلال أسطح أسطوانية فرضية والتى تصبح صغيرة كلما صغرت المسافة نحو البئر



شكل (٩-٦) تأثير إختلاف معاملات الأنتقال على الشكل والعمق ومدى حدود قمع الإنخفاض (معدل الضخ والعوامل الأخرى ثابته فى الحالتين)



شكل (١٠-٦) أختلاف الانخفاض طبقا لمسافة من البئر

الشـكل (١٠-٦) كـيف أن الانخفاض يكون موزعاً فى قمع الانخفاض على جانـب واحـد من البئر الجارى الضخ منه . المنحنى يوضح المستويات التى تكون عندها المياه فى آبار الملاحظة على مسافات مختلفة من البئر الجارى الضخ منه . فى خـط المياه للخزان الجوفى فإنه يوضح سطح المياه خلال الخزان الجوفى أثناء الضخ مـن البئر .الفرق بين سطح المياه الموضح على المنحنى وخط المياه الاستاتيكى هو الانخفـاض عند أى نقطة . يعتبر الفقد فى الضغط مصطلح أفضل لوصف الفرق فى الضـغط الـلازم لحدوث معدل تدفق معين من نقطة إلى أخرى فى الخزان الجوفى . وهو يمثل القوة اللازمة للتغلب على المقاومة والتدفق . الفقد فى الضغط على منحنى منسـوب المياه الجارى سحبها شكل (١٠-٦) يمثل التغيرات فى الانخفاض بين هذه النقط.

بفـرض أن البئر الجارى الضخ منه بمعدل ثابت ٢٠ لتر / الثانية . الانخفاض الكلـى ٢٠ مـتر فى البئر يكون هو فرق الضغط اللازم لدفع ٢٠ لتر/ الثانية خلال

الخزان الجوفى (من خلال منطقة التأثير للبئر) ثم إلى البئر . وعند مسافة ٢٠ متر من البـــئر يكون الانخفاض ٦ متر . يوضح هذا أن فرق الضغط ٦ متر لازمة لرفع ٢٠ لتر/ الثانية خلال التربة من الحد الخارجى لقمع الانخفاض خلال ٢٠ متر داخل البئر . ويتطلب كذلك فرق ضغط ٦ متر أخرى لدفع ٢٠ لتر/ الثانية من مسافة ٢٠ متر إلى حوالـــى ٥ متر من البئر. عند هذه النقطة يكون الانخفاض ١٥ متر . باقى الانخفاض الكلى أو فرق الضغط يستخدم لدفع المياه خلال آخر ٥ متر من التربة وخلال مصفاة البئر .

وهــذه الأرقام تبين زيادة الفقد فى الضغط لوحدة المسافة على مسار التدفق فى الخزان الجوفى نحو البئر .

تعريف المصطلحات :

المصطلحات الهامة المستخدمة فى دراسة هيدروليكا الآبار هى :

منسوب المياه الاستاتيكى : Static Water Level

منســوب المــياه الاستاتيكى هو المنسوب للمياه فى البئر عندما لا يكون هناك سحب من البئر بالضخ أو بالتدفق الحر . ويعبر عنه عادة بالمسافة من سطح الأرض (أو مـــن نقطة قياس قريبة من سطح الأرض) إلى منسوب المياه فى البئر . بالنسبة للبئر الذى يتدفق عند سطح الأرض ، فإن منسوب المياه الاستاتيكى يكون فوق سطح الأرض . ويقــاس بعــد إيقاف التدفق من البئر . المنسوب الاستاتيكى فى هذه الحالة يسمى أحياناً ضغط التوقف أو القفل .

منسوب الضخ : Pumping Level

منسوب الضخ هو منسوب المياه فى البئر عندما يكون البئر جارى السحب منه (ضـــخه) . ويســـمى منسوب الضخ كذلك بمنسوب المياه الديناميكى . فى حالة البئر المتدفق يكون المنسوب الذى تتدفق عنده المياه .

الانخفاض : Draw down

الانخفــاض فى البئر يعنى حد الانخفاض لمنسوب المياه عند ضخ البئر أو عند صرف المياه من البئر المتدفق . الانخفاض هو الفرق المقاس بالمتر بين منسوب المياه الاستاتيكى ومنسوب ضخ البئر . وهذا يمثل فرق الضغط أو منسوب المياه بالمتر الذى يسبب تدفق المياه خلال الخزان الجوفى فى اتجاه البئر بمعدل معين .

الانخفاض المتبقى : (Residual Draw Down)

بعد توقف الضخ فإن منسوب المياه يرتفع ويقترب من منسوب المياه الاستاتيكى قـبل بدء الضخ . أثناء فترة الاستعادة هذه فإن مسافة منسوب المياه الذى يوجد أدنى منسوب المياه الاستاتيكى يسمى الانخفاض المتبقى .

إنتاجية البئر : Well Tield

إنتاجية البئر هو حجم المياه فى وحدة الزمن التى تسحب من البئر سواء بالضخ أو بالتدفق الحر . وهى تقاس عادة بمعدل الضخ لتر فى الثانية . أو المتر المكعب فى الدقيقة.

الطاقة النوعية : Specific Capacity

الطاقــة النوعية للبئر هى تصرف البئر لوحدة الانخفاض وعادة يعبر عنها لتر فى الثانية للمتر من الانخفاض . بقسمة التصرف على الانخفاض مع قياس كل منهما فــى نفس الوقت يعطى قيمة الطاقة النوعية . فمثلاً إذا كان معدل الضخ ٤٠ لتر فى الثانية وأن الانخفاض كان ٥ متر فإن الطاقة النوعية للبئر تكون ٨ لتر / ث / متر من الانخفاض فى وقت أخذ القياسات .

المصطلحات منسوب المياه الاستاتيكى ، منسوب المياه الديناميكى ، الانخفاض، الانخفــاض المتبقى تستخدم فى قياسات الآبار التى تعمل بالضخ أو لأى آبار مجاورة استخدمت كآبار ملاحظة .

نصف القطر المؤثر : (Raduis Of Influence)

نصف القطر المؤثر هو المسافة من مركز البئر حتى حد قمع الانخفاض . وهو أكـــبر لقمع الانخفاض الذى يحيط البئر الارتوازى عن قمع الانخفاض حول بئر خط المياه .

معامل التخزين : (Coefficient Of Storage (-S))

معـــامل التخزين لخزان جوفى هو حجم المياه التى تسحب من الخزان أو تدفع (تشـــحن) فـــى الخزان لكل متر من سطح الخزان الجوفى لكل متر تغير فى الضغط الرأسى.

فـــى الخزانات الجوفية ذات خط المياه تكون قيمة (S) نتيجة تأثيرين مصطلحين هما انضغاط الخزان الجوفى وتمدد المياه به عند انخفاض الضغط أثناء الضخ . قيمة (S) للخزانات الجوفية مصطلح رقمى فقط .

معامل الانتقال : Coeffient Of Transmissivity (t)

معـــامل الانـــتقال لخزان جوفى هو معدل تدفق المياه خلال شريحة رأسية من الخـــزان الجوفـــى . باتســـاع واحد قدم وممتدة خلال كل السمك المشبع تحت ضغط هيدروليكى ١ أو ١٠٠% بشكل (٩) .

قيم معامل الانتقال تتراوح ما بين أقل من ١٠٠٠ إلى أكثر من مليون جالون فى الـــيوم/ القدم . الخزان الجوفى ذو معامل انتقال أقل من ١٠٠٠ يمكن أن يوفر المياه للآبـــار المنزلية وما شابه ذلك . بينما عندما يكون معامل الانتقال للخزان الجوفى فى حـــدود عشـــرة آلاف أو أكـــثر فإنه ينتج مياه مناسبة للأغراض الصناعية والمنزلية والرى.

معـــاملات الانـــتقال والتخزيـــن ذات أهمـــية خاصة لأنها تعرف الخصائص الهيدروليكـــية للـــتربة الحاملة للمياه الجوفية . معامل الانتقال يوضح كمية المياه التى تـــتحرك خـــلال التربة الحاملة ومعامل التخزين يوضح كمية المياه التى يمكن سحبها بالضخ أو الصرف . عند إمكانية تحديد هذين العاملين لخزان جوفى معين يمكن توفير

التوقعات المحتملة ، وبعضها هو :

- الطاقة النوعية للآبار ذات الأقطار المختلفة .
- الانخفاض فى الخزان الجوفى على مسافات مختلفة من البئر الجارى ضخه .
- الانخفاض فى البئر فى أى وقت بعد بدء الضخ .

السحب من مخزون المياه : Water Supplied From Storage

عند ضخ المياه من البئر فإن كمية المياه التى تسحب أولاً تكون من المخزون المائى الذى يحيط بالبئر مباشرة . ومع استمرار الضخ فإنه يتم سحب مياه أكثر من المخزون على مسافات بعيدة وأبعد من فتحة البئر . وهذا يعنى أن قمع الانخفاض يجب أن يمتد وذلك ليزداد نصف قطر التأثير . يزداد كذلك الانخفاض لتوفير فرق الضغط الإضافى اللازم لتحريك المياه من مسافات أبعد . يتمدد القمع ويزداد عمقه بمعدل متناقص مع الوقت ، ولكن مع زيادة التمدد الأفقى يتوفر كم أكبر من المياه للسحب أكثر من ذى قبل .

الشكل (١١-٦) يوضح كيف أن قمع الانخفاض يتمدد أثناء فترات متساوية من الوقت . نفترض أنه بعد ساعة واحدة قد يكون نصف قطر القمع ٤٠٠ قدم وعمقه ٦ قدم عند فتحة البئر . وفى نهاية الساعة الثانية تمدد القمع ١٧٠ قدم إضافى وزاد عمقه ٠,٣ قدم . الساعة الثالثة للضخ تحدث تمدد إضافى لنصف القطر ١٣٠ قدم وزيادة لعمق القمع ٠,٢ قدم . بحساب حجم كل قمع يوضح أن حجم القمع الثانى (C_2) ضعف حجم القمع الأول (C_1) وحجم القمع الثالث (C_3) ثلاث أضعاف حجم القمع الأول (C_1) يحدث ذلك لأن نفس الحجم من المياه يتم ضخه من البئر خلال كل ساعة.

بعد عدة ساعات يلزم القياسات بدقة لمعرفة مدى زيادة عمق القمع (الانخفاض) أثناء فترات محددة من الضخ ، هذا يؤدى عادة إلى استنتاج أن القمع قد وصل إلى حالة ثبات مع استمرار الضخ . والحقيقة أن القمع يستمر فى الاتساع والعمق حتى تصل التغذية للخزان الجوفى لتكون مساوية للضخ . وتحدث التغذية فى واحدة أو أكثر من الحالات الآتية :

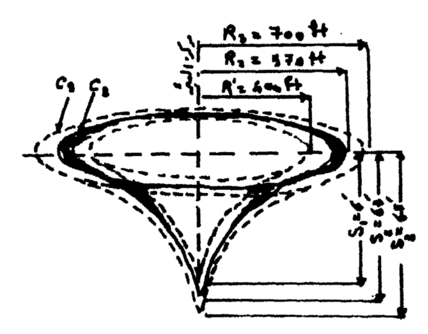
١ – يتمدد القمع حتى يتقاطع تماماً مع الصرف الطبيعى للخزان الجوفى مساوياً لمعدل الضخ .

٢ – يـتمدد القمـع حـتى يتقاطع مع مصدر مياه سطحى حيث تدخل منه المياه إلى الخزان الجوفى مساوية لمعدل الضخ .

٣ – يتمدد القمع حتى وجود تغذية عمودية خلال نصف القطر المؤثر مساوية لمعدل الضخ .

٤ – يـتمدد القمـع حتى وجود تصرف كافى من التكوينات العليا أو السفلى مساوية لمعدل الضغط .

عـند توقف تمدد القمع لواحدة أو أكثر من الأسباب السابقة ، عندئذ توجد حالة الاتزان ، لا توجد زيادة فى الانخفاض مع زيادة زمن الضخ . فى بعض الآبار يحدث الاتزان خلال عدة ساعات قليلة بعد بدء الضخ . وفى البعض الآخر قد لا يحدث حتى مع امتداد زمن الضخ لعدة سنوات .



شكل (١١-٦) التغير فى قطر وعمق قمع الانخفاض بعد فترات متساوية من الوقت ، مع ثبات معدل الضخ

الفصل السابع

حالات الاستقرار والتغير في معدلات الضخ

٧

معادلات اتزان البئر : Equilibruim Well Formulas

معادلات تصرف البئر وإن كانت درست كثيراً إلا أنه يوجد معادلتين أساسيتين . أحدهمـــا للحالات الإرتوازية (Artisian) والثانية لحالات خط المياه (Water Table). كلا المعادلتين يفــترض إعادة التغذية (Recharge) عند نهايات قمع الانخفاض . الشكل (٧-١) يوضـــح مقطـــع طولـــى لبئر منشأ فى خزان جوفى مفتوح (له خط مياه) . معادلة الخزان بخط المياه هى :

$$(١) \quad Q = \frac{1.366\, k(H^2 - h^2)}{\text{Log} \quad R/r}$$

حيث :

Q = تصرف البئر أو معدل الضخ متر مكعب / اليوم

K = التوصيل الهيدروليكى للتربة الحاملة م٣/ اليوم / م٢ (متر/ يوم) .

H = المنسوب الاستاتيكى مقاس من قاع الخزان الجوفى بالمتر .

h = عمق المياه فى البئر عند الضخ بالمتر .

R = نصف قطر قمع الانخفاض بالمتر .

r = نصف قطر البئر بالمتر .

الشـــكل (٧/٢) مقطـــع طولى لضخ البئر من خزان جوفى ارتوازى . المعادلة للبئر الذى يعمل تحت ظروف ارتوازية هى :

$$(٢) \quad Q = \frac{2.73\, kb(H - h)}{\text{Log} \quad R/r}$$

حيث :

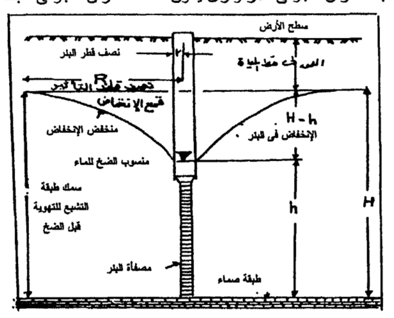
b = سمك الخزان الجوفى بالمتر .

باقى القياسات كما سبق .

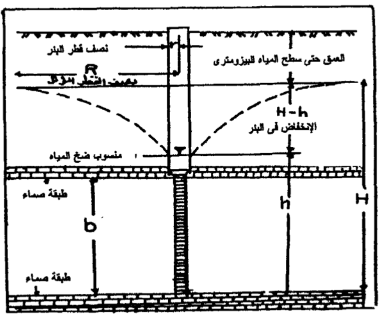
استنباط المعادلات السابقة بنى على الفرضيات المبسطة الآتية :

- التربة الحاملة ذات نفاذية واحدة خلال النصف قطر المؤثر للبئر .

- أن الخزان الجوفى متجانس وليس فى شكل طبقات (Not Stratified)
- للخـــزان الجوفـــى المفــتوح (بخط المياه) السمك المشبع ثابت قبل بدء الفتح وكذلك بالنسبة للخزان الجوفى الارتوازى يكون سمك الخزان الجوفى ثابت .



شكل (١-٧) بئر فى خزان جوفى غير محصور يبين معنى المصطلحات فى معادلة الإتزان



شكل (٢-٧) بئر فى خزان جوفى محصور يبين المصطلحات المستخدمة فى معادلة الإتزان

- كفاءة الضخ ١٠٠ % .
- البئر الجارى الضخ منه يخترق كل العمق للخزان الجوفى .
- كلاً من خط المياه والسطح البيزومترى تكون أسطح أفقية .
- التدفق منتظم خلال نصف قطر التأثير للبئر .
- قمـــع الانخفاض وصل إلى الاتزان حتى أن كلاً من الانخفاض ونصف قطر التأثير للبئر لا يحدث بهما تأثير مع استمرار الضخ بمعدل معين .

قد تبدو هذه الفرضيات أنها تحد من استخدام هذه المعادلات . وفى الواقع فإنها لا تحد . فنادراً ما توجد النفاذية المنتظمة فى خزان جوفى ، ولكن يتم بتحديد متوسط الـــنفاذية مـــن اختـــبارات ضـــخ البئر أفاد فى تقدير كفاءة البئر وهكذا بالنسبة لباقى الفرضيات .

تعيين النفاذية [التوصيل الهيدروليكى] للخزان الجوفى :

يمكـــن اســـتخدام معادلات اتزان البئر لحساب التوصيل الهيدروليكى فى حالة معرفة H و Q و R من اختبار الضخ وتحديد b من لوغاريتم الحفر .

بالنسبة للخزان الجوفى المفتوح لحساب النفاذية أو التوصيل الهيدروليكى K .

$$k = \frac{Q \text{ Log } r2/r1}{1.366\,(h_2^2 - h_1^2)} \qquad (٣)$$

حيث :

r_1 = المسافة لأقرب بئر ملاحظة بالمتر .

r_2 = المسافة لأبعد بئر ملاحظة بالمتر .

h_2 = سمك الطبقة المشبعة بالمتر عند أبعد بئر ملاحظة .

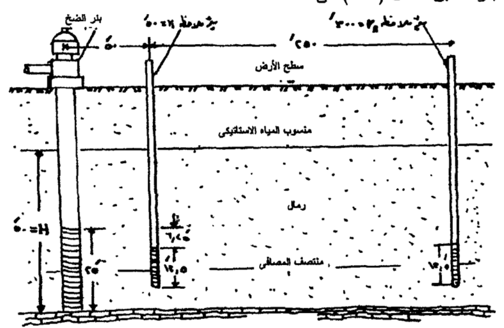
h_1 = سمك الطبقة المشبعة عند أقرب بئر ملاحظة .

باقى المصطلحات كما فى المعادلات السابقة .

كـــل القيم على اليمين للمعادلة يمكن تعيينها من اختبار الضخ ، لتعيين h_1 ، h_2 يلـــزم اثنيـــن مـــن بئر ملاحظة على مسافات r_1 ، r_2 من بئر الضخ . الشكل (٣-٧)

يوضح مقطع لاختبار الضخ فى خزان جوفى غير محصور لتعيين التوصيل الهيدروليكى للتربة الحاملة. كل العوامل يمكن قياسها فى هذا النوع من الاختبار وكذلك تعيين التوصيل الهيدروليكى بدقة .

بالنسبة للخزان المحصور (Confined) معادلة تعيين التوصيل الهيدروليكى من اختبار مشابق للكشل (٣-٧) هى :



شكل (٣-٧) نموذج لبئر ضخ وآبار الملاحظة للحصول على بيانات حقليه اللازمة لحساب معامل النفاذية من معادلات إنتاج البئر

$$k \frac{Q \text{ Log } r_2 / r_1}{2.75 \ 3(h_2 - h_1)b} \qquad (٤)$$

حيث :

b = سمك الخزان الجوفى بالمتر .

h_2 = الضغط بالمتر عند أبعد بئر ملاحظة مقاس من قاع الخزان الجوفى .

h_1 = الضغط بالمتر عند أقرب بئر ملاحظة مقاس من قاع الخزان الجوفى .

بالإضافة لتوفير وسائل دقيقة لحساب متوسط التوصيل الهيدروليكى للخزان الجوفى ، فإن معادلات اتزان البئر تفيد فى دراسة مختلف علاقات العوامل ببعضها ولإنتاجية البئر . حيث فى حالة ثبات كل العوامل فإن الإنتاجية تزداد بزيادة التوصيل

الهيدروليكى فالخزان الجوفى ذو ضعف توصيل هيدروليكى تكون إنتاجيته ضعف الآخر . بالنسبة للخزان الجوفى المحصور المعادلة($Q = \frac{2.75\, kb\, (H - b)}{Log\ R/r}$)

توضح أن الإنتاجية تتناسب مع سمك الطبقة الحاملة عند تساوى كل العوامل الأخرى .

علاقة قطر البئر بإنتاجيته :

كيف أن قطر البئر يؤثر على الإنتاجية ؟ . البعض يفترض أنه بمضاعفة قطر البئر يضاعف الإنتاجية وهذا بعيد عن الحقيقة . فعند تساوى العوامل الأخرى فإن المعادلة $Q = \frac{1.366K(H^2 - h_1^2)}{Log\ R/r}$ توضح أن Q تتغير مع تغير K/LogR/r حيث K تمثل كل العوامل الثابتة .

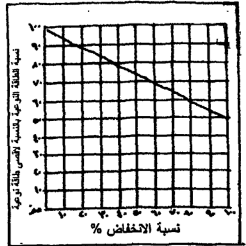
علاقة الانخفاض بالإنتاجية : (Relation Of Drawdown To Yield)

المعادلة $Q = \frac{2.73kb(H - h)}{Log\ R/r}$ للبئر المحصور (Confined) توضح أن التصرف يتناسب طردياً مع الانخفاض (H-h) ، طالما أن الانخفاض لا يزيد عن المسافة من السطح البيزومترى الاستاتيكى حتى قمة الخزان الجوفى .فى حالة زيادة الانخفاض عن هذه الكمية ، عندئذ فإن b سوف تنخفض وأن النسبة لا تكون صحيحة . نظرياً هذا يعنى أنه كلما تضاعف الانخفاض تضاعفت الإنتاجية ، بمعنى آخر الطاقة النوعية للبئر(Specific Capacity) تظل ثابتة عند أى معدل ضخ طالما أنه لا يحدث سحب جوفى من الخزان الجوفى .

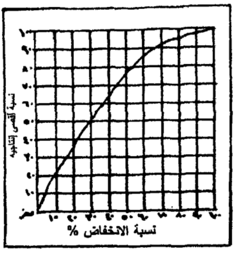
بالنسبة للبئر فى الخزان الجوفى الغير محصور ، فإن الحيز من التكوينات الحاملة خلال قمع الانخفاض يكون خالى من الماء (Dewatered) أثناء الضخ . وذلك يؤثر على العلاقة بين الانخفاض والإنتاجية . عند مضاعفة الانخفاض فإن إنتاجية البئر تكون أقل من الضعف نظراً لانخفاض السمك المشبع من التربة الحاملة . الطاقة النوعية تنخفض بزيادة الانخفاض ، فى الواقع فإنها تنخفض بنسبة الانخفاض .

الشــكل (٤-٧) يوضح العلاقة بين الانخفاض والإنتاجية للبئر المفتوح . أقصى انخفــاض يعــنى خفــض منسوب المياه إلى قاع البئر ، ٥٠% انخفاض يعنى خفض منسوب المياه إلى نقطة فى المنتصف بين منسوب المياه الاستاتيكى وقاع البئر .فمثلاً بئر بعمق ٤٠ قدم (١٢,٢متر) وعمق المياه الاستاتيكى ٥ قدم (١,٥متر) وسمك الطبقة المشـبعة ٣٥قــدم (١٠,٧مــتر). عند الاختبارات كان الضخ بمعدل ٨٧ م٣ أي (١٦ جــالون/ق) ومنســوب الضـــخ عند ٤,٦ متر (١٥ قدم) أسفل سطح الأرض أ، عند انخفــاض ٣ مــتر (١٠ قــدم) كم ستكون الإنتاجية عند انخفاض ٦,١ متر (٢٠قدم) ومنسوب الضخ عند ٢٥ قدم (٧,٦متر) .

فــى هــذه الحالة فإن الانخفاض بنسبة ١٠٠% هو ٣٥ قدم ، ١٠ قدم انخفاض أثناء الاختبار يكون عندئذ ٢٩% من إجمالى الانخفاض الكلى . المنحنى فى الشكل (٤-٧) يوضــح أنــه عند انخفاض ٢٩% فإن الإنتاجية تكون ٥٠% من أقصى إنتاجية وبهــذا يكون ١٦ جالون فى الدقيقة ٥٠% من أقصى إنتاجية البئر . انخفاض ٢٠ قدم يوفر ٥٧% من أقصى إنتاجية . انخفاض ٢٠ قدم يمثل ٥٧% من إجمالى الانخفاض ومن المنحنى فإن الانخفاض فى هذه الحالة سوف يوفر ٨٢% من أقصى إنتاجية . إذا كــان ١٦ جــالون فى الدقيقة هو ٥٠% من أقصى إنتاجية ، عندئذ ٨٢% من أقصى إنتاجــية ستكون ٨٢×٥٠×١٦=٢٦ جالون فى الدقيقة (١٤٢متر مكعب فى اليوم) . البئر يتوقع أن ينتج ٢٦ جالون فى الدقيقة عند انخفاض ٢٦ قدم .



شكل (٥-٧) العلاقة بين الطاقة النوعية والانخفاض فى خزان غير محصور تام الاختراق ومفتوح لتربة الحامله للماء



شكل (٤-٧) مقارنة الإنتاجية بالإنخفاض لبئر مثالى غير محصور تام الاختراق ومفتوح للبئر

المنحنى (٥-٧) يوضح أن الطاقة النوعية تختلف بالنسبة للانخفاض . نظريا أقصى طاقة نوعية عند انخفاض صفر نظرا لعدم النقص فى السمك المشبع . وأدنى طاقة نوعية عندما يكون الانخفاض والإنتاجية عند أقصاهما . يلاحظ أن أدنى طاقة نوعية هى ٥٠% من أقصاها . فى المثال السابق ٨٥% من أقصى طاقة نوعية تتحقق عند انخفاض ١٠ قدم و٧١% عند انخفاض ٢٠ قدم . الشكل (٤-٧) يوضح لماذا أنه غير اقتصادى يكون تشغيل البئر مع انخفاض أكبر من ٦٧% من أقصى انخفاض . ذلك لأنه عند انخفاض ٦٧% من أقصى انخفاض يمكن إنتاج ٩٠% من أقصى إنتاجية . وللحصول على باقى ١٠% يتطلب خفض إضافى ٣٣% وذلك يلزمه تكاليف ضخ بما لا يتناسب مع زيادة الإنتاجية .

معادلة عدم إتزان البئر : (Non Equilibrium Well Equation)

أعد العالم (Theis) معادلة عدم إتزان البئر عام ١٩٣٥، وكانت هذه المعادلة أول من أدخل زمن الضخ على الإنتاجية للبئر وكان هذا تقدما كبيرا فى هيدروليكا المياه الجوفية . باستخدام هذه المعادلة يمكن تقدير الانخفاض فى أى وقت بعد بدء الضخ . قدرة الانتقال (Transmissivity) ومتوسط التوصيل الهيدروليكى (Hydraulic

(Conductivity) يمكـــن تحديدهم فى المراحل الأولى لإختبارات الضخ وليس بعد ثبات منسوب المياه فى آبار الملاحظة . معاملات الخزان الجوفى يمكن تحديدهم من قياسات الإنخفاض مع الوقت فى بئر ملاحظة واحد وليس من بئرين ملاحظة كما هو المطلوب فى المعادلات ٦ ، ٧ .

بنيت معادلة (Theis) على الفرضيات التالية :

ــ تجانس التربة الحاملة للمياه والتوصيل الهيدروليكى واحد فى كل الإتجاهات .

ــ سمك الطبقة الحاملة واحد وممتد إلى مساحة لا نهائية .

ــ لا يتم التغذية للخزان الجوفى من أى مصدر .

ــ البئر الجارى الضخ منه يخترق ويستقبل مياه من كل سمك الطبقة الحاملة للمياه

ــ بئر الضخ كفاءته ١٠٠% .

ــ كل المياه المسحوبة من البئر تأتى من المخزون فى الخزان الجوفى .

ــ تدفق المياه منتظم خلال البئر والخزان الجوفى .

ــ خط المياه ليس به ميول .

ــ يتزامن صرف المياه من البئر مع إنخفاض الضغط الرأسى .

هــذه الفرضيات هى أساسا مثل حالة معادلة الإتزان عدا أن منسوب المياه فى قمع الإنخفاض لم يصل إلى مرحلة الإتزان .

فى أبسط صورها معادلة ثيس (Theis) هى

$$S = \frac{1}{4\Pi}\frac{Q}{T}W(u) = \frac{1}{4\Pi}\frac{Q}{T}W(U) \qquad (٨)$$

حيث :

S = الإنخفاض بالمتر عند أى نقطة قريبة من البئر الجارى السحب منه بمعدل ثابت .

Q = معدل الضخ بالمتر المكعب فى اليوم .

T = معامل الإنتقال للخزان الجوفى متر مربع فى اليوم .

W(u) = دلالة البئر بالمعامل (u) .

$$u = \frac{r^2 s}{4 T t} \qquad (٩)$$

حيث :

r = المسافة بالمتر من منتصف البئر الجارى ضخه إلى النقطة حيث يتم قياس الإنخفاض .

S = معامل التخزين .

T = معامل الانتقال (السريان) م^٣/يوم .

t = زمن الضخ منذ بدء الضخ بالأيام .

دلالة البئر (u) [W(u)] كمصطلح يشابه توزيع الحرارة فى سطح مستوى عندما يـتم التسخين فى المنتصف . وقد عرف العالم ثيس أن هذه الظاهرة يمكن تطبيقها فى التوزيع المنتظم للضغط الرأسى (Head) للمياه الجوفية حول البئر الجارى ضخه رغم أن المياه تتدفق نحو البئر وليس بعيداً عنه .

تحلـيل بـيانات إختـبارات الضخ بإستخدام معادلة ثيس وجد بها مصاعب فى الحسابات . وقد تم تطويرها فيما بعد . وتم تبنى الطريقة المطورة .

معادلة عدم الإتزان المطورة :

أثناء استخدام معادلة ثيس قام العالمان كوبر وجاكوب عام ١٩٤٦ بتوضيح أنه عندما يكون المعامل u صغيراً يمكن تطوير معادلة عدم الإتزان إلى الشكل الآتى بدون خطأ كبير .

$$(١٠) \quad S = \frac{0.183\, Q}{T} \mathrm{Log} \frac{2.25\, T t}{r^2 S}$$

وهذه الرموز هى نفسها فى المعادلات ٨ ، ٩ .

عـندما تكـون قيمة (u) أقل من ٠,٠٥ فإن المعادلة رقم ١٠ تعطى نفس نتائج المعادلـة رقـم ٩ . قيمة u تقل عند زيادة t وصغر r ولهذا فإن المعادلة ١٠ تصبح

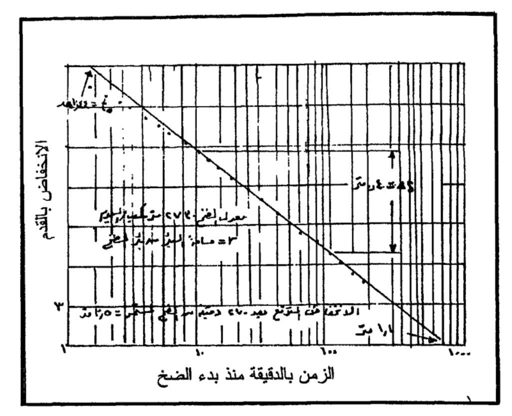
مناســبة للتطبيق عندما تزداد قيمة t وتنخفض قيمة r . المعادلة رقم ١٠ تشابه معادلة ثــيس عــدا أن قيمة u استبدلت بقيمة لوغاريتمية بما يجعل من السهل العمل بها من الناحية التطبيقية لهيدروليكا البئر .

فــى حالة معينة عند ثبات معدل الضخ ، T,Q وS كلهم ثابتين . فإن المعادلة ١٠ توضح أن الإنخفاض (S) يتغير مع t/r^2 Log عندما تكون قيمة u أقل من ٠,٠٥ . من هذه العلاقة يمكن تحديد علاقتين هامتين .

- بالنســبة لخزانات جوفى معين عند أى نقطة (حيث r ثابتة) قيمة r,S هما المتغيران فقــط فــى المعادلة ١٠ . لهذا فإن قيمة S تتغير مع تغير قيمة Log C_1t ، حيث C_1 تمثل كل الثوابت فى المعادلة .
- بالنســبة لتكويــنات (تربة) معينة وعند قيمة معينة ل t فإن قيم S (الهبوط) و r هما المتغــيران فــى المعادلــة ١٠ . فى هذه الحالة تتغير قيمة S (الهبوط) مع تغير $LogC_2/r^2$ حيث C_2 تمثل كل الثوابت فى المعادلة بما فيها القيمة المحددة ل t .

بإســتخدام هــذه العلاقة المبسطة المبنية على المعادلة ١٠ ، يمكن إستخلاص معلومات عن الخصائص الهيدروليكية للخزان الجوفى برسم بيانى للإنخفاض وبيانات الوقــت أثــناء إختــبار الضــخ . البــيانات موقعــة علــى ورق شــبه لوغاريتمية (Semilogarithmic) كما هو موضح فى الشكل (٦-٧) . عند توقيع الزمن t فى الرأسى علــى المقــياس اللوغاريــتمى والإنخفاض (S) على الأفقى على المقياس الرياضى . الشكل (٦-٧) يوضح البيانات من الجدول (١-٧) موقع حيث كل النقط تقع على خط مستقيم .

كل النقط عدا الممثلة للقياسات عند العشرة دقائق الأولى للضخ تتطابق مع الخط . عند العشرة دقائق الأولى قيمة (u) أكبر من ٠,٠٥ وهذا يجعل المعادلة المطورة لعدم الإتزان لا تنطبق فى مجال الإختبار هذا .



شكل (٦-٧) عند توقيع البيانات من الجدول (١-٧) على ورق مخطط شبه لوغاريتمى – فإن معظ النقط تقع على خط مستقيم

جدول (١-٧) قياسات الإنخفاض فى بئر ملاحظة على مسافة ٤٠٠ قدم (١١٢ متر من بئر الضخ)

الزمن منذ بدء الضخ بالدقيقة	الإنخفاض قدم	الإنخفاض متر	الزمن منذ بدء الضخ بالدقيقة	الإنخفاض قدم	الإنخفاض متر
١	٠,١٦	٠,٠٥	٢٤	١,٥٨	٠,
١,٥	٠,٢٧	٠,٠٨	٣٠		٤٨
٢	٠,٣٨	٠,١٢	٤٠	١,٧	٠,٥
٢,٥	٠,٤٦	٠,١٤	٥٠		٢
٣	٠,٥٣	٠,١٦	٦٠	١,٨٨	٠,
٤	٠,٦٧	٠,٢٠	٨٠		٥٧

الزمن منذ بدء الضخ بالدقيقة	الإنخفاض		الزمن منذ بدء الضخ بالدقيقة	الإنخفاض	
	قدم	متر		قدم	متر
٥	٠,٧٧	٠,٢٣	١٠٠	٢,٠	٠,٦
٦	٠,٨٧	٠,٢٧	١٢٠		١
٨	٠,٩٩	٠,٣٠	١٥٠	٢,١١	٠,
١٠	١,١٢	٠,٣٤	١٨٠		٦٤
١٢	١,٢١	٠,٣٧	٢١٠	٢,٢٤	٠,
١٤	١,٣٠	٠,٤٠	٢٤٠		٦٨
١٨	١,٤٣	.٤٤		٢,٣٨	٠,
					٧٣
				٢,٤٩	٠,
					٧٦
				٢,٦٢	٠,٨
				٢,٧٢	٠,
					٨٣
				٢,٨١	٠,
					٨٦
				٢,٨٨	
				٠,٨٨	

الإنتقال :(Transmissivity)

معامل الإنتقال (السريان) يتم حسابه من معدل الضخ ومن منحنى الوقت – الإنخفاض وذلك بإستخدام العلاقة التالية المنبثقة من المعادلة رقم ١٠ .

$$T = \frac{23}{4\Pi}\,\frac{Q}{\Delta S} = \frac{0.183Q}{\Delta S} \qquad (١١)$$

حيث:

Q = معدل الضخ م^3/ى

T = معامل الإنتقال م^3/ى

ΔS =تقــرأ (دلتاS) ميل الوقت ــ الإنخفاض ويعبر عنه بالإنخفاض بين وقتين على المنحنى اللوغاريتمى .

مثال : دلتا S ‏(ΔS) ٠,٤ متر والتى هى التغير فى الإنخفاض بين ١٠ق ، ١٠٠ ق بعد بدء إختبارّ الضخ و Q = ٢٧٣٠م^3/ى

$$T = \frac{0.183}{0.4} X2730$$

$$= 1249\ m_2\ /day$$

معامل التخزين (Coefficient Of Storage):

معــــامل التخزيــن مســتنبط كذلك من المعادلة رقم ١٠ ومن منحنى الوقت – الإنخفــاض وذلــك بإستخدام الإنخفاض صفر متقاطعاً مع الخط المستقيم كأحد مكونات المعادلة . المعادلة هى كالآتى :

$$S = \frac{2.25\ Tt\ 0}{r^2} \qquad (١٢)$$

حيث :

S = معامل التخزين

T = معامل الإنتقال م^2/ى

t_o = تقاطع الخط المستقيم عند إنخفاض صفر فى اليوم .

r = المســافة بالمتر من البئر الجارى ضخه إلى بئر الملاحظة حيث يتم عمل القياسات .

فى المثال السابق : t_o = ١,٤٤ دقيقة أو ٠,٠٠١ يوم ،

T =١٢٧٠م^2/ى .

$$\therefore\ S = \frac{0.25X1250X0.001}{(122)^2}$$

$= 1.9 \times 10^{-4}$

البيانات المستخدمة فى هذا المثال هى من بئر ملاحظة على مسافة ١٢٢ متر مــن بــئر الإنــتاج حيث معدل الضخ ٢٧٣٠م^{3} أى لمدة ٢٤٠ دقيقة . فى حالة أخذ القياســات مــن بئر ملاحظة آخر بعيداً عن بئر الإنتاج وفى حالة توقيع البيانات على الشكل (٦-٧)فإن النقط تقع على خط مستقيم موازى للخط السابق ولكن تقع فوقه .وفى حالــة أخــذ القياسات من بئر ملاحظة أقرب إلى بئر الإنتاج أو فى بئر الإنتاج نفسه وتوقسعها على الشكل (٦-٧) فإنها تقع فى خط مستقيم موازى وأسفل الخط الموضح . قيم TوS التى تم حسابها من كل الثلاث مجموعة بيانات تكون هى نفسها . وعموما فإن معــامل التخزين الذى يتم حسابه من بيانات الإنخفاض فى بئر الإنتاج لا يعتمد عليها ١٠٠% .

تقدير الإنخفاض من شكل الوقت. الإنخفاض :

بالإضافة إلى إستخدام هذا الشكل فى حياب ثوابت الخزان الجوفى (Constants) فإنه يوفر وسائل لتقدير الإنخفاض المستقبلى . الخط المستقيم فى الشكل يمكن إمتداده إلــى اليميــن لتعيين الإنخفاض الذى سيحدث فى بئر الملاحظة (١٢٢ متر من بئر الإنتاج) بعد أى فترة زمنية من ثبات واستمرار معدل الضخ (٢٧٣٠م^{3}/ى) . فى هذا المثال الإنخفاض المتوقع بعد ١٢ ساعة (٧٢٠ دقيقة) من الضخ المستمر هو النقطة حيث يتقاطع الخط الممتد مع الخط العمودى الذى يمثل ٧٢٠ دقيقة . من الشكل قيمة t = ٧٢٠ دقــيقة ، وقيمة S (الإنخفاض بالمتر) = ١,١ متر (٣,٥ قدم) . الإنخفاض بعــد ١٢٠ ساعة (٧٢٠٠ دقيقة) يقدر بإضافة AS (١,٣قدم) . ٠,٤ متر تضاف إلى الإنخفاض عند ١٢ ساعة (٧٢٠ق) . يلاحظ أن ١٢٠ ساعة عشرة أضعاف ١٢ ساعة أو دورة لوغاريتمــية مــن الوقت تلى١٢ساعة . ويمكن تعريف ΔS بأنها الزيادة فى الإنخفاض بعد دورة لوغاريتمية من الوقت (One Log Cycle) . لذلك بعد ٥ أيام (١٢٠ ساعة) من إستمرار الضخ بمعدل ٢٧٣٠م^{3}/اليوم الإنخفاض (S) عند ١٢٢ متر من بئر الإنــتاج سيكون ١,١متر+٠,٤متر = ١,٥متر . يلاحظ مدى الإستفادة بهذه الطريقة .

فبمجرد عمل منحنى الإنخفاض ــ الوقت من إختبار الضخ لفترة قصيرة ، يمكن إمتداد الخط المستقيم لإيجاد الإنخفاض المتوقع بعد فترة ضخ طويلة بنفس معدل الضخ .

بالنسبة للخزان الجوفى المحصور يفضل الضخ لمدة ٢٤ ساعة متصلة للحصول على بيان الإنخفاض ــ الوقت . البئر الغير محصور يتم ضخه لمدة ٣ أيام .

لبـــئر معين المعادلة ١٠ توضح أنه عندما تكون t ثابتة فإن الإنخفاض يتناسب طرديا مع معدل التدفق . وكذلك عند مضاعفة معدل الضخ فأن الإنخفاض يتضاعف .

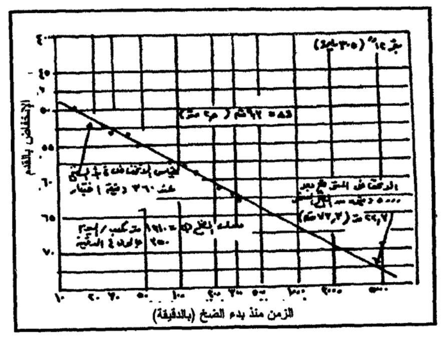
يمكن الإستفادة من هذه العلاقة ، وذلك بتطبيق بيانات الإختبار من بئر ملاحظة أو أكـــثر لـــتقدير الإنخفـــاض بدقة فى آبار الملاحظة عند معدلات ضخ مختلفة عن معدلات الإختبار .

الظروف الجيولوجية التى تؤثر على مخطط الإنخفاض . الوقت :

الفرضية بأن الخزان الجوفى لا يستقبل مياه لإعادة الشحن أثناء الضخ هى أحد ســـتة أساسيات مبنى عليها معادلات عدم الإتزان . ولهذا فإن المفروض أن كل المياه الـــتى تـــم ضخها من البئر تم سحبها من الميا ه المخزنة فى الخزان الجوفى . وهذا الوضـــع يجـــب حدوثـــه نظـــراً لأنه عند إستمرار الضخ فإن الإنخفاض يزداد وقمع الإنخفـــاض يتمدد . وهذه الفرضية الأساسية تمكن من حساب الإنتقال (T) من بيانات الإنخفـــاض ــ الوقـــت بإستخدام المعادلة رقم (١١) . مع إفتراض عدم الشحن أثناء الضخ يسمح كذلك بامتداد منحنى الإنخفاض ــ الوقت لتقدير الإنخفاض فى التوقيتات المستقبلية . من المعروف أن معظم تكوينات التربة تستقبل إعادة الشحن وهذا الشحن إما أن يكون مستمر أو متقطع . عندما يكون الشحن متقطع بسبب التأثيرات الموسمية، فإن الخزان الجوفى قد لا تحدث له التغذية لفترات من شهر إلى ثلاثة أشهر أو أكثر . منسوب المياه يمكن أن يستعيد تماما خلال عام واحد من المساحة التى تستقبل تسربات طبيعية . لذلك فإن منحنيات الإنخفاض ــ الوقت الموضحة هنا تمثل كفاءة البئر أثناء توقيـــتات عـــدم الشـــحن أو التغذية .فى حالة عدم إختبار الضخ يحرص عند وصول

الـتغذية إلى الخزان الجوفى ، فإن شكل الإنخفاض ـ الوقت من إختبار الضخ سوف يعكس الشحن أو التغذية .

الشكل (٧-٧) يوضح الإنخفاض ـ المنحنى لبئر إنتاج يعمل تحت ظروف عدم الشحن . معدل الضخ ١٩١٠م^{3}/ى وأخذت قياسات الإنخفاض على فترات عند الضخ لمدة ٣٦٠ دقيقة . النقط الموقعة على الشكل الشبه لوغاريتمى توضح خط مستقيم مع ميل قيمة ΔS ٢,٨ متر (٩,٣قدم) . الإنخفاض الذى سيحدث لهذا البئر لأى فترة زمنية من الضخ المستمر بمعدل ١٩١٠م^{3}/ى (٣٦٠جالون /ق) يمكن تقديرها بسرعة وذلك بامتداد الخط المستقيم .الإنخفاض المقابل لضخ مستمر لمدة ٥٠٠٠ دقيقة هو ٢٢,٤متر (٧٣,٣قدم) .

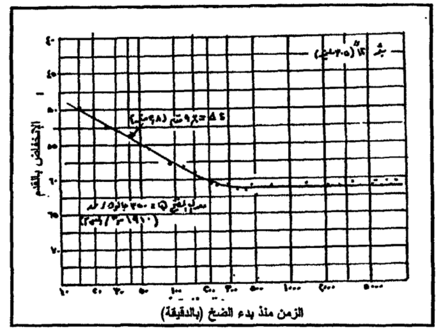


شكل (٧-٧) مخطط الزمن ـ الإنخفاض لبئر الضخ (بدون إعادة شحن الخزان الجوفى) يمكن إمتداد للتنبؤ بالإنخفاض لزمن من الضخ المستمر أطول من الإختبار نفسه.

هذه الطريقة بسهولة منسوب الضخ وموقع الطلمبة لتوفير غمرها بالمياه . كما يمكــن إضافة أى معامل أمان بالإضافة إلى منسوب الضخ لماجهة التغيرات المفاجئة فى كفاءة البئر نتيجة الترسيبات أو إحتمال إقامة آبار مجاورة فيما بعد .

الضخ المستمر يعنى الضخ لمدة ٢٤ ساعة يومياً بدون إعطاء فرصة لإستعادة منسوب المياه . البئر الذى يعمل جزء من اليوم فقط سوف لا يظهر الإنخفاض التراكمى حتى بعد ٧ أو ٣٠ أو ٩٠ يوم مثل الذى يوضحه المخطط الخاص بالإنخفاض – الوقت شكل (٧-٧) . طبيعى أن البئر الذى يعمل لمدة ١٢ ساعة ثم يتوقف ١٢ ساعة سوف يستعيد منسوب المياه خلال فترة التوقف . فى حالة عدم كفاية التغذية عند توقف الضخ سوف لا يعود منسوب المياه إلى ما كان عليه . وعند إستئناف الضخ فإن الإنخفاض يبدأ من منسوب جديد أسفل المنسوب الذى بدئ الضخ عنده .

يستقر الإنخفاض عندما يكون الشحن خلال منطقة التأثير لبئر الإنتاج مساوى لإنتاج البئر .لا يحدث إنخفاض لمنسوب مع إستمرار الضخ بمعدل ثابت . عندئذ يكون مخطط المنحنى للانخفاض – الوقت أفقى كما فى الشكل (٧-٨) .



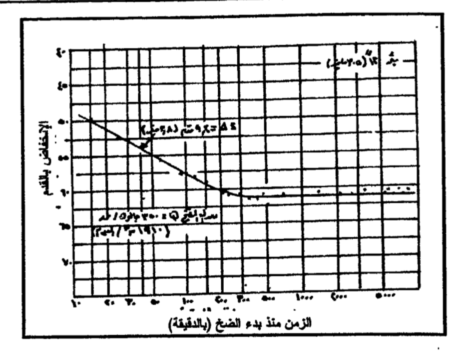
شكل (٧-٨) عند إعادة الشحن للخزان الجوفى خلال منطقة التأثير للبئر ، فإن منحنى الوقت- الإنخفاض يقترب إلى الإستقامة . الخط المستقيم يمثل تساوى السحب مع الشحن بعد ٢٤٠ دقيقة من الضخ .

الجزء الأول من المنحنى فى الشكل (٧-٨) توضح أن قمع الإنخفاض كان

يتســع أثناء فترة الضخ الأولى لمدة ٢٤٠ دقيقة . بعد ٢٤٠ ق فإن قمع الإنخفاض أو مساحة التأثير للبئر شملت مصدر التغذية . فى الجزء الثانى من المنحنى معدل التغذية فى منطقة التأثير كان كافياً ليتساوى مع معدل الضخ بما ينتج عنه ثبات مناسيب المياه خــلال مــنطقة التأثير .التغذية تحدث عادةً خلال فترة زمنية وليست فورية .التتغذية يمكن أن تكون من بحيرة أو نهر فى جزء فقط من قمع الإنخفاض . بعد إحتواء حدود التغذية ، يزداد الإنخفاض ببطء فى المساحات البعيدة عن مصدر التغذية حتى حدوث الإتزان .

يحدث أحياناً أن معدل التغذية خلال قمع الإنخفاض يكون أبطأ من معدل الضخ من البئر ، حيث يغير ذلك منحنى الإنخفاض ــ الوقت والجزء الآخر قد لا يكون أفقى .أى أن المنحــنى لا يكون كما سبق بل أقرب إلى الإستواء ويبين أن قمع الإنخفاض يتســع بــبطء أكثر من الجزء الأول لفترة الضخ شكل (٩-٧) . الإنخفاض المستقبلى للبئر يمكن تقديره بامتداد الخط المستقيم للجزء الثانى للمنحنى ثم قراءة الإنخفاض عند أى وقت مستقبلى .

عــند تغــير الإنحناء لمنحنى الإنخفاض ــ الوقت بعد فترة من إستمرار الضخ تستخدم فقط الطريقة البيانية للمنحنى لتقدير الإنخفاض المستقبلى . فى حالة عدم تغير المنحــنى فــإن الإنخفاض المستقبلى يمكن تقديره من معادلة ثيس (Theis) أو بالرسم البــيانى . عــند تغــير المنحنى لا تطبق معادلة ثيس فى أى وقت بعد التغير. الميل الأصلى.



شكل (٩-٧) معدل الشحن أقل قليلاً من معدل السحب ولذلك فإن الجزء الثانى من منحنى الإنخفاض لا يصبح مستقيماً .

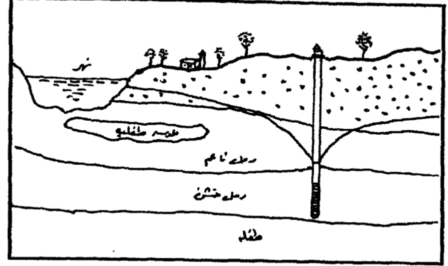
يجب ملاحظة أنه عند حساب الإنتقال (T) للتربة الحاملة أن تتم بإستخدام قيمة S (الإنخفاض) المقابل للميل من الجزء الأول من مخطط الإنخفاض ــ الوقت . بعد نقطة التغــير فى الميل التقدير الرقمى لا يعتد به عند تحليل بيانات إختبار الضخ سواء كان ذلك بإستخدام معادلات ثيس فى حالة عدم الإتزان أو عدم الإتزان المطورة .

إعادة الشحن من نهر : (Recharge From River)

الوصول إلى حالات الإتزان حيث يستقر قمع الإنخفاض حول البئر أثناء الضخ قــد تحدث عند عدة حالات عامة . أحد هذه الحالات هى حيث يتم تغذية الخزان من نهر أو بحيرة الشكل (١٠-٧) يوضح حالة حدوث الإتزان .

أثناء المراحل الأولى للضخ قمع الإنخفاض لا يمتد حتى النهر ولا توجد تغذية . عــندما يمــتد قمع الإنخفاض أسفل مساحة النهر ، عندئذ تتسرب مياه النهر إلى أسفل خــلال الطــبقة المســامية تحــت تأثير الضغط الهيدروليكى وذلك فى حالة الاتصال الهيدرولــيكى مع الخزان الجوفى . عندئذ يغذى النهر الخزان بمعدل يزداد مع إتساع

قمع الإنخفاض .



شكل (١٠-٧) تمدد قمع الإنخفاض أسفل النهر بسبب تدرج هيدروليكى بين الخزان الجوفى والنهر .

عند تساوى إعادة الشحن للخزان الجوفى مع السحب من البئر فإن كلاً من قمع الإنخفــاض ومنسوب الضخ يصبحا مستقرين . الجزء الأفقى فى الشكل (٨-٧) يقابل هذه الحالة وللموقف فى الشكل (١٠-٧) .

عــند إمــتداد الخط فى الشكل (٨-٧) يلاحظ أن الإخفاض المتوقع بعد ٥٠٠٠ دقــيقة من الضخ المستمر يكون ١٨,٧ متر (٦١,٢ قدم). التغذية للخزان الجوفي فى هذه الحالة تقلل من الإنخفاض ١١,٨ قدم (٣,٦ متر) عن ذلك الموجود فى الشكل (٧-٧) بعد نفس الفترة الزمنية من إستمرار الضخ .

إعادة الشحن بالتسرب الرأسى : (Recharge From Vertical Percolation)

تحــدث حالة الإتزان كذلك عند إعادة الشحن خلال المساحة الكلية للتأثير حول بــئر الإنتاج .يحدث ذلك عندما يكون السبئر فى الخزان الجوفى الغير محصور حيث الــتربة فـــى منطقة التهوية من سطح التربة حتى خط المياه تكون من رمل مسامى . نفترض أنه عند إتساع قمع الإنخفاض يحدث تسرب نتيجة سقوط الأمطار خلال منطقة نصف القطر المؤثر للبئر .عند تساوى حجم المياه المتسرب خلال نصف القطر المؤثر

إلى خط المياه لمعدل الضخ من البئر فإن قمع الإنخفاض يتوقف عن الإنتشار وتحدث حالة إتزان لمنسوب الضخ من البئر والخزان الجوفى . قد يكون الشكل السائد للتغذية التى تحدث حالة إتزان هى التسرب الرأسى للماء من الطبقة المشبعة فوق الخزان الجوفى. الطبقة السطحية فى منقة التشبع تكون عادة ذات نفاذية منخفضة عن التربة العميقة حيث يوجد البئر . وفرق النفاذية بين الطبقة العليا والعميقة يمكن من تقييم الطبقة العليا كطبقة محصورة . عندما تغطى مساحة دائرة التأثير الف.متر مربع فإن التسرب الكلى من الطبقة العليا رغم ضعف النفاذية يمكن أن يساوى تصرف البئر ويحدث حالة من الإتزان فى منسوب الضخ .

إثر ميل خط المياه : Effect Of a Sloping Water Table

تدفق المياه خلال الخزان الجوفى فى إتجاه البئر أو بعيداً عنه تحدث موقف آخر والذى يمكن أن يسبب ثبات لمنسوب الضخ . المياه الجوفية تتحرك بسبب فرق الضغط الناتج بين مناطق التغذية ومناطق السحب . الميل لخط المياه أو السطح البيزومترى يمثل فرق الضغط . معظم الميول الطبيعية لخط المياه أو السطح البيزومترى تكون مستوية نسبياً ولا تؤثر على منحنيات كفاءة البئر . الإنحناء النسبى الحاد يسبب تشويه لقمع الإنخفاض حول البئر . وتصبح مساحة التأثير بيضاوية بدلاً من أن تكون دائرية . أكثر المياه التى تضخ من البئر تأتى من التدفق العلوى أكثر من التدفق المتساوى من كل الإتجاهات .

الكشف عن تاثيرات الشحن : (Detecting Recharge Effects)

تأثير الشحن على شكل مخطط الإنخفاض ــ الوقت كان منصباً على مخطط البئر الجارى ضخه شكل (٨-٧) . يجب معرفة أن القياسات لبئر الملاحظة سوف تنتج مخطط مشابه عدا أن الوقت الذى يحدث عنده تغير فى الإتجاه يختلف طبقاً للمسافة النسبية لمصدر الشحن .

البيانات من بئر الملاحظة تكون عادةً أكثر دقة ويعتمد عليها أكثر من البيانات

من بئر الإنتاج . لذلك فإن مخطط الإنخفاض ـ الوقت من آبار الملاحظة يعتمد عليها أكثر لمعرفة كفاءة الخزان الجوفى .

نظـرياً كلاً من المخططين لبئر الإنتاج وبئر الملاحظة يعطيا نفس قيمة ΔS . نفـترض أن قـيمة ΔS لكلـيهما هى ٢,٨ متر (٩,٣ قدم) كما فى الشكل (٨-٧) فإن الإنتقال لتربة الحاملة سيكون

$$T = \frac{0.183\ X1910}{2.8} 125m^2/D$$

سـيكون واضح من هذا أن دقة وإستمرار القياسات للإنخفاض عند بدء إختبار ثـبات الضـخ يعتبر هام جداً . يلزم الحصول على بيانات كافية مبكرة عند الإختبار لـنعكس بوضـوح كفـاءة البئر والخزان الجوفى قبل تأثيرات الشحن أو أى تأثيرات خارجية التى تعيق تطبيق القاعدة النظرية لعدم الإتزان .

الحدود الصماء : Imprevious Boundaries

نسبة قليلة من الخزانات الجوفية تؤكد الفرضية الأساسية بالحد اللانهائى فى كل الإتجاهات من بئر الإنتاج . كثير من الحالات توجد حدود جيولوجية وهيدروليكية التى تحد من مساحة الخزان الجوفى وخاصة فى المناطق الباردة والجليدية . تؤثر الحدود الصـماء على مخطط الإنخفاض ـ الوقت بطريقة عكس التى تحدثها التغذية للخزان الجوفى هذه الحدود تجعل منحنى المخطط يزداد إنحناءاً بدلاً من أن يستوى . ويمكن بسهولة تفهم هذا عند معرفة كيف تتحرك المياه من الخزان الجوفى إلى البئر .

الفرضـية العامـة هى أن المياه تتحرك من جميع الإتجاهات نحو البئر . عند إصطدام قمع الإنخفاض الذى يتمدد لحدود صماء على أحد أجناب بئر الإنتاج فإنه لا يـتمدد فـى هـذا الإتجـاه ولا يحدث إمداد بالمياه من هذا المكان . عندئذ فإن قمع الإنخفاض يجب أن يتمدد ويزداد عمقه بسرعة أكثر فى باقى الإتجاهات للمحافظة على معدل الإنتاج للبئر . وأثر ذلك على مخطط الإنخفاض ـ الوقت الشبه لوغاريتمى هو زيادة الإنحناء كما فى الشكل (١١-٧) .

يجــب ملاحظة الفرضية السابقة فى أن إختبارات الضخ يجب ألا تقل عن يوم للآبــار الإرتوازيــة ولا تقــل عن ثلاثة أيام للآبار الغير محصورة .الشكل (١١-٧) يوضــح أثــر الحدود بعد ١٠٠ دقيقة من بداية الضخ . حيث عند عمل الإختبار لمدة ١٠٠ دقــيقة فقط فإنه لا يمكن إكتشاف تأثير الحدود . حيث فى هذه الحالة عند امتداد خط المنحنى الأول سيوضح إنخفاض قيمته ١٨,٩ متر (٦٢ قدم) بعد ٧ أيام (١٠٠٠٠ دقــيقة) مــن الضــخ بمعــدل ١٣٦٠ م^٣^/ى (٢٥٠ جالون فى الدقيقة) بينما التقدير الصــحيح هــو ٢٢,٣ مــتر (٧٣ قــدم) كما هو محدد من إمتداد الفرعة الثانية من المنحنى.

فــى الخزان الجوفى المحصور كبر قمع الإنخفاض أثناء الضخ لمدة ٢٤ ساعة كــافى للوصــول إلــى الحــدود التى تؤثر على تقدير الإنخفاض من المخطط الشبه لوغاريتمى . فى الخزان الجوفى الغير محصور يتمدد قمع الإنخفاض ببطء بما يتطلب زمن ضخ أكثر للوصول إلى شواهد وجود الحدود الصماء .

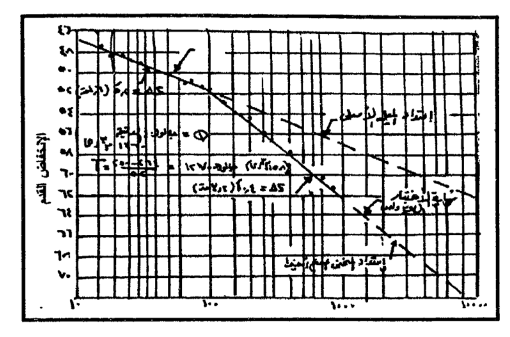
مسافة مخطط الإنخفاض : (Distance Drawdown Diagram)

فــى حالــة قياس الإنخفاض فى وقت واحد لثلاث آبار ملاحظة أو أكثر ، فإنه يمكن عمل مخطط شبه لوغاريتمى للإنخفاض .لعمل مخطط دقيق للإنخفاض ــ الوقت فإنه يلزم ثلاث آبار ملاحظة . كل منها على مسافة مختلفة من بئر الإنتاج .

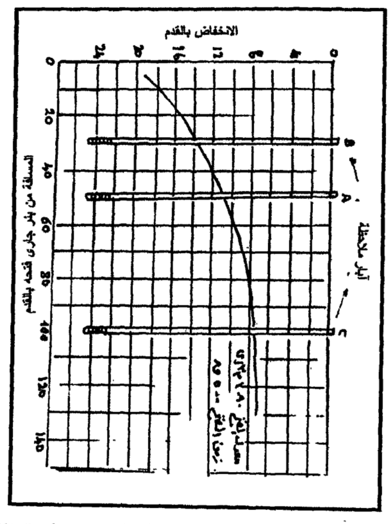
فى حالة توقيع هذه القيم على ورقة ذات تقسيمات عادية كما فى الشكل(١٢-٧) حيــث أثــر الانخفــاض لقمــع الإنخفاض قرب بئر الإنتاج يتم توفيره . وهذا مشابه للمنحنيات فى الأشكال (١٠-٦، ١-٧، ٢-٧، ١٠-٧) .

فى حالة توقيع الإنخفاض فى الآبار الثلاث على مخطط شبه لوغاريتمى ، فإن منحنى الإنخفاض يصبح خط مستقيم كما فى الشكل (١٣-٧) .

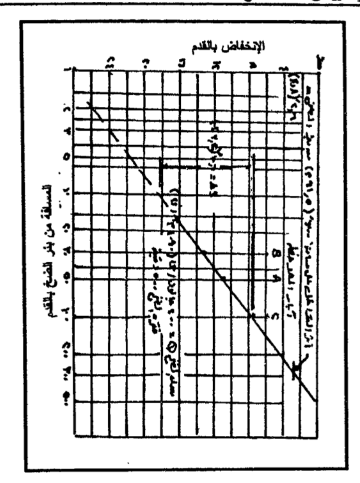
المقياس الرأسي يمثل الإنخفاض والمقياس الأفقي يمثل لوغاريتم المسافة من بئر الإنـتاج . النقط التي تمثل إنخفاض في آبار ملاحظة أخرى بعيداً عن بئر الإنتاج سـوف تقع أسفل الخط المستقيم في الشكل (١١-٧) . وذلك نظراً لأنه على مسافة ما مـن البـئر الجاري ضخه u أكبر من ٠,٠٥ في حالة زيادة u عن ٠,٠٥ فإن علاقة الخط المستقيم بين S إلى Log r لا تصبح صحيحة .



شكل (١١-٧) الانحناء الحاد لمنحنى الوقت ـ الإنخفاض الشبه لوغاريتمى يوضح خزان جوفى محدود . تمدد قمع الانخفاض خلال حدود صماء في الوقت الموضح في المنحنى .



شكل (١٢-٧) توقيع الإنخفاض لثلاث آبار ملاحظة لتوقيع جزء من قمع الإنخفاض



شكل (١٣-٧) مسار قمع الإنخفاض موقع على مخطط شبه لوغاريتمى يصبح خط مستقيم . الإنخفاض فى كل بئر ملاحظة تم قياسه بعد بدء الضخ ب٥٠٠ دقيقة .

التوقيع الشبه لوغاريتمى لقمع الإنخفاض (مخطط الإنخفاض - الوقت) يبسط تطبيق العلاقة بين الإنخفاض - المسافة . الخط المستقيم يمكن أن يمتد جهة اليمين لتعيين أثر الضخ عند أى مسافة من بئر الضخ . فمثلاً الشكل (١٢-٧) يبين أنه عند ضخ البئر بمعدل ١٠٩٠م^3/اليوم (٢٠٠ جالون فى الدقيقة) لمدة ٥٠٠ دقيقة ، يحدث إنخفاض ٠,٨ متر (٢,٦ قدم) لبئر آخر على مسافة ٩١,٥ متر (٣٠٠قدم) .

مع التحول البسيط إلى المعادلة رقم (١٠) يسمح بحساب الإنتقال من مخطط المسافة - الإنخفاض . ميل الخط المستقيم يستخدم بطريقة مشابهة للطريقة المستخدمة لمخطط الإنخفاض - الوقت والمعادلة لهذا هى :

$$(13)\ T = \frac{0.366\,Q}{\Delta S}$$

حيث :

T = معامل الإنتقال م٢/ى

Q = معدل الضخ م٣/ى

ΔS = ميل مخطط الإنخفاض – المسافة طبقاً للتغير فى الإنخفاض بالمتر بين أى مسافتين على القياس اللوغاريتمى بنسبة ١٠.

بالنسبة للمثال الموضح فى الشكل (١١-٧)

$$T = \frac{0.366 \times 1090}{3.2} = 125 m^2 / D$$

معامل التخزين : Coefficient Of Storage

معامل التخزين يمكن حسابه من مخطط الإنخفاض ـــ المسافة بإستخدام المعادلة التالية المنبثقة من المعادلة رقم (١٠)

$$(14)\qquad S = \frac{2.25\,Tt}{r_0^2}$$

حيث :

S = معامل التخزين

T = معامل الإنتقال م٢/يوم

r_0 = تقاطع إمتداد الخط المستقيم عند إنخفاض صفر بالمتر .

مـــن الشكل (٧/١٣) قيمة r_0 ١٥٢ متر (٥٠٠ قدم) ، T هى ١٢٤م٢/اليوم أو (٩٩٦٠ جالون فى اليوم) ، t = ٥٠٠ دقيقة (٠,٣٤٧يوم) . لهذا

$$S = \frac{2.25 \times 124 \times 0.347}{(125)^2} = 4.2 \times 10^{-3}$$

يلاحظ عندئذ أن معاملات التخزين للخزان الجوفى يمكن حسابها من العلاقتين التاليتين نتيجة إختبار الخزان الجوفى .

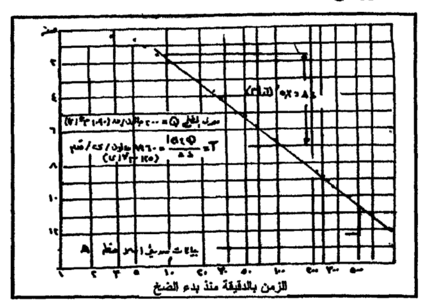
. معدل إنخفاض منسوب المياه فى أى مكان خلال قمع الإنخفاض على مخطط الإنخفاض – الوقت

. شــكل ووضع قمع الإنخفاض فى أى وقت على مخطط الإنخفاض ــ المسافة هــذه الحسابات مستقلة كل عن الأخرى ولذلك نتائج أحدهما قد تستخدم لمراجعة نتائج الثانية .

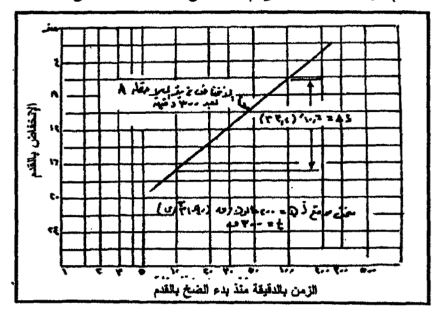
الإستخدامات الأخرى لمخططات الإنخفاض - المسافة :

يلاحــظ أن قــيمة ΔS فى مخطط الإنخفاض – المسافة ضعف ΔS فى مخطط الإنخفــاض – الوقت لخزان جوفى معين وعند معدل ضخ واحد ، وهذه النسبة للميول لكلا الخطين المستقيمين هى علاقة ثابتة . لذلك فعند تعيين ΔS من مخطط الإنخفاض – الوقت فإن ميل المنحنى على مخطط الإنخفاض ــ المسافة يكون الضعف فى حالة ضــخ البــئر بــنفس المعدل . وهذا يمكن من عمل مخطط الإنخفاض ــ المسافة من مخطط الإنخفاض – الوقت نتيجة القياسات من بئر ملاحظ واحد . ولكن عند ملاحظة الإنخفاض فى بئر واحد فقط (كمثال بئر الإنتاج) فإنه لا يمكن عمل حسابات مستقلة عن كفاءة الخزان الجوفى . المثال التالى يوضح كيف أن مخطط الإنخفاض ــ المسافة يمكــن عمله من بيانات مخطط الإنخفاض – الوقت . الشكل (١٤– ٧) بين مخطط شــبه لوغاريتمى لبيانات الإنخــفاض ــ الوقــت من بئر ملاحــظ A على بعد ١٥,٢ مــتر(٥٠ قدم) من بئر الإنتاج .كما هو موضح فى الأشكال السابقة (١٢،١٣) . قيمة ΔS من مخطط الإنخفاض – الوقت هى ١,٦ متر (٥,٣ قدم) ،هى تماما نصف قيمة ΔS مــن منحــنى الإنخفاض – المسافة من الشكل (١٣–٧) . فى حالة عمل مخطط الإنخفاض – المسافة بعد ٣٠٠ دقيقة من الضخ فإن الإنخفاض عند البئر A عند ٣٠٠ دقيقة هو ٢,٩متر (٩,٤ قدم) كما هو موضح فى الشكل (١٤) . تم توقيع هذه القياسات علــى ٥٠ قــدم مسافة على مخطط جديد كما فى الشكل (١٥–٧) . عندئذ يرسم خط مستقيم ب ΔS =٢× ٥,٣ =١٠,٦قدم (٣,٢متر) خلال هذه النقطة . وبهذا فإن مخطط الإنخفاض – المسافة تم إحداثه والذى يمثل قمع الإنخفاض بعد ٣٠٠ دقيقة من الضخ

بمعدل ٢٠٠ جالون فى الدقيقة .



شكل (١٤-٧) منحنى الزمن – الإنخفاض فى البئر الملاحظ A الذى يبعد عن بئر الضخ بمسافة ٥٠ متر (٣١٥,٢) . إختبار الخزان الجوفى تم بمعدل ضخ ثابت ٢٠٠ جالون فى الدقيقة ١٠٩٠ م٣ /ى



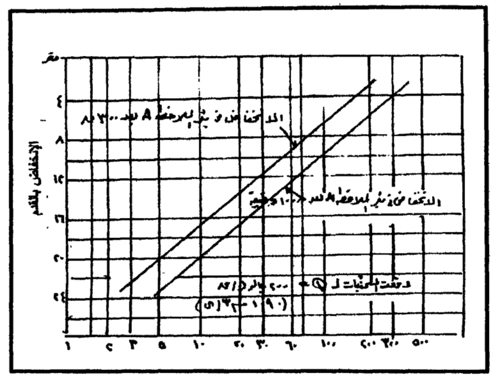
شكل (١٥ – ٧) المسافة الإنخفاض موقع من بيانات الزمن – الإنخفاض . الشكل (٢٦) يوضح وضع قمع الإنخفاض بعد ٣٠٠ ق من الضخ بمعدل ٢٠٠ جالون /ق

تقييم تأثيرات التداخل : [Evaluating Interference Effects]

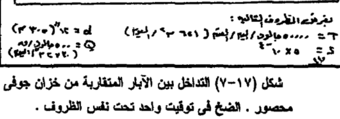
التداخل أو الإنخفاض فى بئر آخر ٣٠٠ قدم (٩١,٥ متر)من بئر الإنتاج ، فى هـذه الحالـة يمكن معر فتها مباشرة من الشكل (١٥-٧) .بعد نهاية ٣٠٠ دقيقة من الضـخ فإن الإنخفاض عند مسافة ٢٠٠ قدم هو ٢,٥ قدم . إذا كان معدل الضخ ٤٠٠ جالون فى الدقيقة ،فإن الإنخفاض فى الخزان الجوفى عند هذه النقطة سيكون الضعف للقيمة أو٥ قدم . سيكون هناك تداخل متبادل بين بئرين بعيدين بمسافة ٢٠٠ قدم بمعدل ضـخ ٤٠٠ فـى الدقـيقة . تأثير التداخل على مختلف المسافات يمكن تقديره بنفس الطـريقة والتأثـير الكلـى لبئر واحد هو مجموع التأثيرات الناتجة لكل الآخرين من المجموعـة . فى هذه المناقشة تم حساب تداخل البئر فى ظروف خزان جوفى يضخ لمدة ٣٠٠ دقيقة ذلك لأن الشكل (١٥-٧) بنى على هذا الأساس ، فى حالة الرغبة فى الـتعرف على التداخل فى حالة توقيتات مختلفة للضخ المستمر فإنه يلزم عمل مخطط آخـر للإنخفـاض -المســافة ،مع البدء بنقطة أخرى مأخوذة من بيانات الإختبارات الأصـلية ، الإنخفـاض فى بئر الملاحظة A بعد ١٠٠٠ دقيقة من الضخ بمعدل ضخ ٢٠٠ جالون فى الدقيقة فى الشكل (١٣-٧)المخطط الذى يصور الحالات بعع ١٠٠٠ ق مـن الضـخ بمعدل ٢٠٠ جالون فى الدقيقة فى الشكل (١٦-٧) موازى للخط عند الضخ لمدة ٣٠٠ دقيقة .

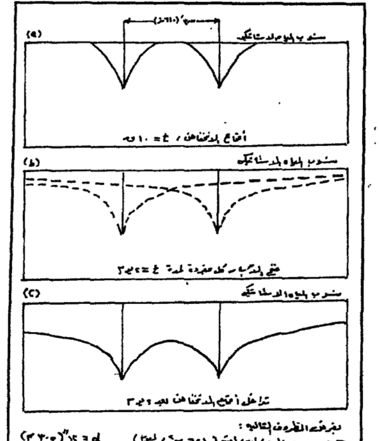
لإعطاء صورة واضحة للتداخل فى حقل آبار حيث توجد عدة آبار للضخ حيث تـتطابق اقمـاع التأثير شكل (١٧-٧) يلزم دراسته جيداً . الشكل (١٧-٧- A) شكل البئرين البعيدين عن بعضهما بمسافة ٢٠٠٠ قدم كل يضخ بمعدل ٥٠٠ جالون /الدقيقة لمدة ١٠ ق . يلاحظ أنه بعد ١٠ ق فإن اقماع الإنخفاض لم تتصل ببعضها .الشكل (١٧-٧- B) يوضـح إمتداد قمع الإنخفاض بعد يومين من الضخ . فى حالة ضخ كل هـذه الآبار فقط فإن قمع الإنخفاض لكل يظهر فى شكل الخطوط المتقطعة للبئر الذى جارى ضخه . أما فى حالة ضخ البئرين معاً فإن النتيجة أو الإنخفاض يتحد عند أى نقطة فى منطقة التأثير لكل من البئرين شكل (١٧-٧ – C)

مخطـــط الإنخفاض – الوقت لكل من البئرين فى الشكل (١٧–٧) سيظهر كما فىالشكل (١٧–٨) . الإنتقال الصحيح للخزان الجوفى يتم الحصول عليه فقط من الميل الأولـــى لهـــذا المنحنى . الميل الثانى – حوالى ضعف الإنحناء بين تأثير بئر آخر . النتيجة النهائية للبئر الثانى عند ضخه بنفس المعدل يكافئ رياضيا حدود التربة الحاملة للمياه .

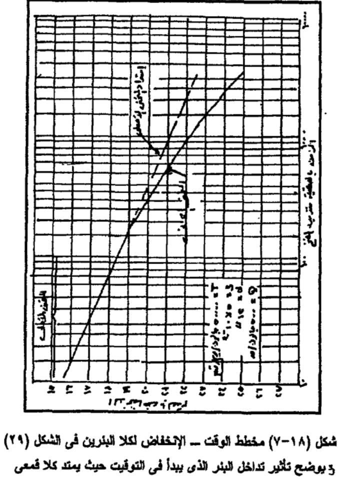


شكل (١٦–٧) مخطط المسافة – الانخفاض يوضح موقع قمع الانخفاض بعد الضخ لمدة ٣٠٠ ق ، ١٠٠٠ بمعدل ثابت ٢٠٠ جالون / ق (١٠٩٠م^{3}/ى)





شكل (٧-١٧) التداخل بين الآبار المتقاربة من خزان جوفى محصور . الضخ فى توقيت واحد تحت نفس الظروف .



شكل (٧-١٨) مخطط الوقت ــ الإنخفاض لكلا البئرين فى الشكل (٢٩) ويوضح تأثير تداخل البئر الذى يبدأ فى التوقيت حيث يمتد كلا قمعى

الفصل الثامن

عوامل التصميم للآبار
Design Factors

٨

عوامل التصميم للآبار : Design Factors

العوامل التى تؤدى إلى زيادة الإنخفاض فى الآبار يمكن تجميعها فى مجموعتين: مجموعة تشمل الاختيارات الخاصة بتصميم البئر . والثانية خاصة بعمليات الإنشاء .

موجز لعوامل التصميم التى تسبب زيادة الإنخفاض :

عدم كفاية فتحات المصفاة بما يسبب زيادة سرعة دخول المياه وبما يسبب زيادة فى الفقد للمياه الداخلية عن العادى ، وكذلك سوء توزيع فتحات المصفاة وعدم إنتظامها بما يسبب زيادة دخول المياه فى فتحات منفصلة وفى بعض الحالات يسبب ذلك مضاعفة الإنخفاض .عدم كفاية طول المصفاة ، بما يسبب إختراق جزئى للخزان الجوفى بما يشتت شكل التدفق إلى مساحة ما حول البئر . التدفق إلى مصفاة البئر يشمل محصلة رأسية بالإضافة إلى المحصلة الأساسية الأفقية . النفاذية الرأسية عادةً أقل من النفاذية الأفقية ولهذا يحدث فقد فى الضغط نتيجة حدوث التدفق الرأسى .

عوامل الإنشاء :

الآتى موجز لعوامل الإنشاء التى تسبب زيادة الإنخفاض :

عدم التنمية الصحيحة للبئر بما لا يحسن نفاذية التربة الحاملة للمياه حول مصفاة البئر . المصفاة ذات نسبة فتحات صغيرة أو التوزيع الغير منتظم للفتحات يمكن أن يسبب صعوبة فى تنمية البئر . كذلك الوضع الغير مناسب لمصفاة البئر فى أعماق لا تقابلها أفضل تربة حاملة للمياه .

وقد يحدث الإنخفاض الزائد نتيجة النقص فى طول المصفاة الذى قدم يستخدم فى حالات كثيرة نظراً لإعتبارات تصحيحية أخرى . وسيتم تقييم تأثير الإختراق الجزئى للخزان الجوفى بواسطة مصفاة البئر فيما بعد .

نصف القطر المؤثر : Radius Of Influence

يمكن تحديد نصف القطر المؤثر للبئر فى معظم الحالات من مخطط الإنخفاض

ـــ المسافة وذلك لمعرفة مدى إمتداد قمع الإنخفاض .من الناحية العملية هى المسافة الموضحة بامتداد الخط المستقيم على مخطط الإنخفاض ـــ المسافة إلى نقطة الإنخفاض صفر. يلاحظ أن هذه المسافة هى نفـس المســافة حيث r_o فى المعادلة (٧-١٤

$$S = \frac{0.3\ Tt}{ro^2}$$

حالات الإتزان : Equilibrium Conditions

عندما يميل قمع الإنخفاض إلى الإستقرار والإقتراب من حالة الإتزان أثناء إختبار الضخ فإن التأثير على مخطط الإنخفاض ـــ المسافة يكون عادة طفيف . يمكن إستقرار قمع الإنخفاض نتيجة الشحن من تساقط المياه أو التسرب من التربة المشبعة أعلى الخزان الجوفى أو التدفق الطبيعى للمياه الجوفية فى إتجاه وحول موقع البئر . كذلك تحدث حالة الإتزان نتيجة الشحن من بحيرة أو مجرى مائى وذلك عندما يتقابل الإنخفاض الهيدروليكى بين خط المصدر والبئر الجارى ضخه .

فى حالة إعادة الشحن فإن قمع الإنخفاض يكون ميله أكثر قليلاً فى إتجاه خط المصدر عن باقى الإتجاهات من البئر ، وخاصة عندما يكون خط المصدر قريباً .

فى هذه الحالة فإن القياسات فى آبار الملاحظة بين بئر الضخ ومصدر الشحن تنتج مخطط إنخفاض ـــ مسافة أكثر ميلاً عن العادى . يحدث هذا لأن تأثير الشحن ينتج عنه إنخفاض أقل فى بئر الملاحظة الأقرب من خط المصدر عن باقى آبار الملاحظة على الجانب الآخر من بئر الضخ .عدا هذه الحالة فإن ميل مخطط الإنخفاض ـــ المسافة يوفر قاعدة يمكن الإعتماد عليها فى حساب الإنتقال للخزان الجوفى بصرف النظر على تأثير إعادة الشحن .ولا ينطبق ذلك لحساب معامل التخزين عند حدوث إعادة الشحن . إعادة الشحن تؤثر على مخطط الإنخفاض ـــ المسافة بالنسبة للرأسى . والنتيجة هى أن r_o أقل عما تكون فى حالة عدم إعادة الشحن . وهذا بالتالى يزيد من قيمة معامل التخزين عن قيمته الحقيقية . فى بعض الحالات تكون قيمة الحسابات لمعامل التخزين أكبر من واحد . هذه قيمة مستحيلة ومثل هذه

القيمة تثبت بدون شك حدوث إعادة شحن .

وجود حدود صماء يؤثر على مخطط الإنخفاض ـ المسافة بطريقة على عكس تأثير إعادة الشحن تماماً . ميل المخطط يتأثر قليلاً فقط فى حالة مسافة البعد النسبى لأى حد أصم مقارنة بالمسافات من آبار الملاحظة . آبار الملاحظة القريبة من الحد الأصم تبين إنخفاض أكثر من العادى ، ومخطط اللاإنخفاض المسافة يكون مستقيم قليلاً عن ما يمكن عليه الحال بخلاف ذلك .

وهذا يؤدى إلى زيادة القيمة الحسابية للإنتقال أكبر من القيمة الحقيقية .وحساب قيمة معامل التخزين تكون أصغر من القيمة الحقيقية نظراً لإزاحة مخطط المسافة ـ الإنخفاض إلى أسفل على المخطط الشبه لوغاريتمى بتأثير الحد الأصم . القيمة المنخفضة الغير متوقعة لمعامل التخزين تبين عادة وجود مثل هذا الحد الأصم .

الإستخدام المزدوج للمخططات شبه لوغاريتمية Combined use Of Semilog Graphs :

لقد رأينا أن الحسابات من مخطط الإنخفاض ـ الوقت يمكن إستخدامها فى مراجعة حسابات الإنخفاض ـ المسافة وبالعكس . عند تغذية بئر من خزان جوفى متجانس من المخزون فقط فإن كلاً من المخططين يعطيان نتائج متشابهة . الحسابات من أحد المخططات مستقلة عن الآخر ، بفرض أن مخطط الإنخفاض ـ المسافة تم عمله من قياسات فى ٣ آبار ملاحظة أو أكثر .

فى حالة ظهور أثر لإعادة الشحن أثناء إختبار الضخ أو فى حالة مقابلة قمع الإنخفاض لحد غير مسامى Impervious Boundry ، فإن التأثير على كلا المخططين يكون مختلف إلى حد ما كما سبق توضيحه . الجدول (١) الآتى يوضح هذه المتناقضات . معرفة مختلف التأثيرات تفيد فى تقييم إختبار الخزان الجوفى .

جدول (١) مقارنات الشحن وتأثيرات الحدود على المخطط الشبه لوغاريتمى

مخطط الوقت ـ الإنخفاض	مخطط المسافة ـ الإنخفاض
١- إحناء المخطط يصبح أكثر إستواءاً وإذا تم حساب الإنتقال على أساس منحنى أكثر إستواءاً سيكون أكبر من القيمة الحقيقية . ٢- إمتداد خط مستقيم للمنحنىالمستوى ينتج عنه قيمة خاطئة لـt_0 التى تكون مرتفعة جداً.الحساب بإستخدام هذا الشكل يعطىمعامل تخزين الذى هوأكبر من القيمة الحقيقية .	١- إنحناء الخط الخط المستقيم يظل بدون تغيير.حساب الإنتقال للخزان الجوفى من المخطط يكون عادة قريباً من قيمته الحقيقية . ٢- ينتقل الخط المستقيم لأعلى . الإمتداد إلى صفر إنخفاض يعطى قيمة r_0 التى تستخدم عند حساب معامل التخزين ينتج عنه قيمةأعلى من القيمة الصحيحة .

جدول (٢) مقارنة تأثيرات إعادة الشحن والحدود على المخططات شبه اللوغاريتمية :

تأثير إعادة الشحن أثناء إختبار الضخ

مخطط الإنخفاض - الوقت	مخطط الإنخفاض - المسافة
١- إنحناء المخطط يصبح أكثر إستواءاً . إذا تم حساب الإنتقال على أساس منحنى أكثر إستواءاً سيكون أكبر من القيمة الحقيقية . ٢- إمتداد خط مستقيم للمنحنى المستوى ينتج عنه قيمة خاطئة ل t_0 التى تكون مرتفعة جداً . الحساب بإستخدام هذا الشكل يعطى معامل تخزين أكبر من القيمة الحقيقية .	١- إنحناء الخط المستقيم يظل بدون تغيير . حساب الإنتقال للخزان الجوفى من المخطط يكون عادة قريباً من قيمته الحقيقية . ٢- ينتقل الخط المستقيم لأعلى . الإمتداد إلى صفر إنخفاض يعطى قيمة r_0 التى تستخدم عند حساب معامل التخزين ينتج عنه قيمة أعلى من القيمة الحقيقية .

تأثير الحدود أثناء إختبار الضخ

مخطط الوقت - الإنخفاض	مخطط المسافة - الإنخفاض
١- يصبح ميل الشكل أكثر إنحناءاً . عند حساب الإنتقال على أساس ميل منحنى ، سيكون أقل من القيمة الحقيقية . ٢- إمتداد خط الإنحناء المائل يعطى قيمة خاطئة ل r_0 التى تكون مرتفعة جداً.الحساب بإستخدام هذا الشكل يعطى	١- ميل الخط المستقيم يظل بدون تغيير . حساب الإنتقال للخزان الجوفى من المخطط يكون عادة قريباً من قيمته الحقيقية . ٢- الخط المستقيم ينتقل لأعلى . الإمتداد إلى صفر إنخفاض يعطى قيمة خاطئة ل r_0 والذى يجعل حساب قيمة معامل التخزين

مخطط الوقت – الإنخفاض	مخطط المسافة – الإنخفاض
معامل تخزين أكبر عن القيمة الحقيقية .	أصغر من القيمة الصحيحة .

تأثير الإختراق الجزئى: Effect of Partial Penetration

معظم المناقشات التى تم تناولها عن كفاءة البئر إفترضت أن التدفق فى إتجاه البئر يكون كله نصف قطرى (Radial) ــ الشكل (١-٨) يوضح هذه الحالة ــ كل خطوط التدفق بدون محصلة رأسية .

التدفق نصف قطرى فى هذا المخطط لأنه يصور (١) خزان جوفى إرتوازى (محصور) (٢) مصفاة البئر قطرها مساوى سمك الخزان الجوفى . (٣) ظروف الضخ حيث التربة الحاملة القريبة من البئر لا تفرغ من المياه (Unwatered) .

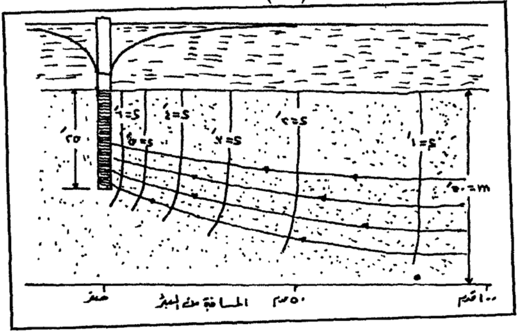
عند عدم حدوث التدفق النصف قطرى ، فإن شكل التدفق والإنخفاضات يختلف إلى حد ما عن ما تم حسابه فى الطرق السابقة . الشكل (١-٨) يوضح خزان جوفى محصور (Artisian Aquifer) حيث المصفاة فى ٥٠% فى سمك الخزان الجوفى وفى الجزء العلوى . فى هذه الحالة فإن الأسهم تمثل مسارات التدفق لجزئيات المياه خلال التربة إلى مأخذ البئر حيث الحيود على التدفقف النصف قطرى واضح تماماً . المياه فى الجزء السفلى للخزان الجوفى يجب أن تتحرك خلال خطوط منحنية لتصل إلى فتحات المصفاة للبئر . فى هذه الحالة فإن المياه تأخذ ممرات أطول عن خطوط التدفق النصف قطرية . نتيجة زيادة طول مسارات التدفق هى زيادة الإنخفاض فى البئر بالنسبة للخزان الجوفى عند أى نقطة رأسية من البئر . لهذا ولإنتاج معين فإن الإنخفاض فى بئر الضخ يكون أكبر إذا كان سمك الخزان الجوفى مخترق جزئياً عما هو الحال فى حالة الإختراق الكلى بالمصفاة .

المنحنيات فى الشكل (٢-٨) يوفر طريقة سهلة لتقدير نتائج الإختراق الجزئى للبئر فى الخزانات الجوفية المحصورة التى تكون متجانسة . هذا المخطط كان بتطوير لمعادلة (Kasney) . وهذه المعادلة لا تنطبق فى صغر سمك الخزان الجوفى وكبر نسبة الإختراق وقطر البئر . المنحنيات فى الشكل (٨/٢) توضح الحالات التى تنطبق فى

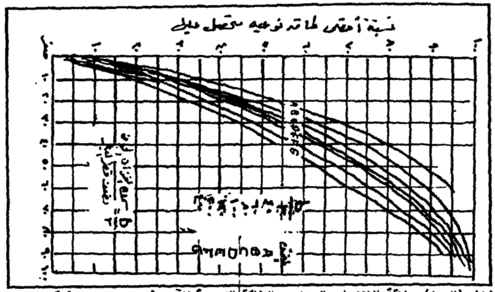
المجال الصحيح والفعال للمعادلة .

لإستخدام هذه المنحنيات فإن طول المصفاة يعبر عنه كنسبة من سمك الخزان الجوفى . بعد توقيع هذه القيمة على المقياس الأفقى تحرك لأعلى مع الخط الرأسى حتى التقاطع مع المنحنى الذى يمثل النسبة لسمك الخزان الجوفى إلى قطر البئر لهذه الحالة . تحرك أفقياً واقرأ قيمة النسبة على المقياس الرأسى . هذه النتيجة تمثل الطاقة النوعية (Specific capacity) للبئر المخترق جزئياً مقيمة كنسبة للطاقة النوعية التى يمكن الحصول عليها عند الإختراق الكامل للبئر .

وعند تقسيم طول المصفاة إلى قطاعات بالسمك الكامل للخزان الجوفى يفصل بينها وصلات عمياء حيث الطول يساوى طول المصفاة التى تخترق ٥٠% من سمك الخزان الجوفى . عندئذ فإن الطاقة النوعية (Specific Capacity) أو الإنتاجية النوعية (Specific Yield) للبئر ستزداد شكل (٣-٨) .



شكل (١١-٨)عند إختراق بئر جزئياً للخزان الجوفى فإن خطوط التدفق فى الخزان الجوفى تحيد إلى حد ما عن التدفق النصف قطرى الذى يصاحب البئر المخترق كلياً .



شكل (٢-٨) علاقة الإختراق الجزئى والطاقة النوعية للآبار فى خزانات جوفية محصورة ومتجانسة .

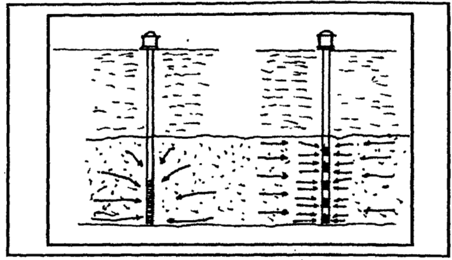
فى حالة بئر خط المياه (الغير محصور) (Water Table Well) ، فإن مسألة الاختراق الجزئي يجب أخذها فى الاعتبار لأن ضخ البئر يزيل المياه من الجزء العلوى للرمال . وهذا يقلل من سمك التشبع وبالضرورة يقلل جزء المأخذ للبئر . عادة ضخ بئر المياه يحدث إنخفاض الذى يمثل نسبة كبيرة من سمك الخزان الجوفي . ينتج عن هذا إنحراف لشكل التدفق مقارنة بالتدفق النصف قطرى .

استخدام بيانات إستعادة منسوب المياه .

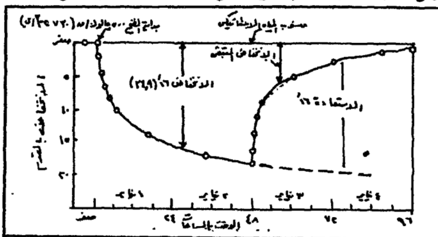
عند توقف ضخ البئر فإن منسوب المياه فى البئر والخزان الجوفى يعود من الموقع المنخفض فى إتجاه المنسوب قبل بدء الضخ . معدل حدوث هذه العودة توفر وسيلة لحساب معاملات التخزين والإنتقال . لهذا فإن تسجيل توقيتات العودة يعتبر جزء هام من إختبارات البئر . قياسات الزمن - الإنخفاض أثناء فترة الضخ وقياسات الزمن - الإستعادة يوفر مجموعتين من المعلومات من إختبار واحد للخزان الجوفى . القيم المتحصل عليها من تحليل بيانات الإستعادة تمكن من مراجعة الحسابات المبنية على بيانات الضخ .

عند وجود بئر إختبارى واحد على الأقل على مسافة مناسبة من بئر الضخ فإن بيانات إستعادة منسوب المياه لهذا البئر تعكس تماماً الخصائص الهيدروليكية للخزان الجوفى . عند عدم توفر بئر ملاحظة فإن بيانات إستعادة منسوب المياه لبئر الضخ يمكن إستخدامها فى حسابات محدودة لإمكانيات الخزان الجوفى . فى جميع الحالات مناسيب المياه يتم قياسها فى بئر الضخ وفى آبار الملاحظة (يفضل ألا تقل عن ٢ بئر ملاحظة).

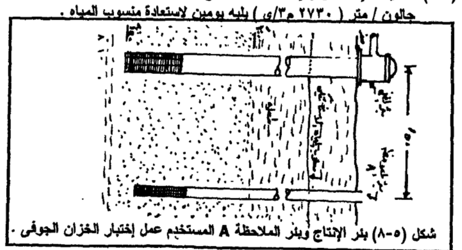
أثناء فترة الضخ يجب أن يتم الضخ بمعدل ثابت بيانات الإستعادة (recovery) يمكن تحليلها كما سيتم توضيحه فقط فى حالة مقابلة هذه الحالة . قياسات الإستعادة التى تتبع إختبار إختلاف المعدل، مثل إختبار الإنخفاض المرحلى (Step Draw Downtest) لا يمكن إستخدامه . التوقيت المظبوط لبدء الضخ والتوقف للطلمبة يجب تسجيله ، مع ملاحظة كذلك أى تغيرات فى معدل الضخ والتى لا يمكن تجنبها والتوقيت المضبوط عند حدوث كل تغير .منحنيات الإستعادة التى تعكس إستجابة الخزان الجوفى توضح التغير فى منسوب المياه مع الوقت . وكجزء هام من التسجيل يكون التوقيت المضبوط عند عمل كل قياس . ليست كل الآبار تقاس فى توقيت واحد ولكن الفاصل الزمنى بين القياسات يجب أن يكون تقريباً واحد لكل بئر .



شكل (٣-٨) كفاءة البئر يمكن أن تتحسن بإستخدام قطاعات متعددة من المصفاة فى الخزان الجوفى السميك لخفض تأثير الإختراق الجزئى . حيث طول المسافة واحد فى الحالتين .



شكل (٤-٨) منحنيات الإنخفاض والإستعادة لبئر الضخ خلال ٤٨ ساعة بمعدل ثابت للضخ ٥٠٠ جالون / متر (٢٧٣٠ م٣/ى) يليه يومين لاستعادة منسوب المياه .



شكل (٨-٥) بئر الإنتاج وبئر الملاحظة A المستخدم عمل إختبار الخزان الجوفى .

عند كل بئر يجب تحديد إرتفاع نقطة القياس والتى تكون عادة أعلى القيسون . لقياس عمق المياه بدقة تستخدم تجهيزة تعمل كهربية ــ صوتية (Electric Sounding Device) ، أو الشريط الصلب الموزون (Weighed Steel Tape) . القراءات التى تؤخذ بفقاعات الهواء أو بعدادات الضغط لا يعتمد عليها فى هذا النوع من الإختبار . الشكل (٤-٨) يوضح طريقة تغير منسوب المياه فى البئرلا مع الوقت . المنحنى اليسار من الشكل يقابل زمن الضخ والنصف الأيمن يقابل زمن الإستعادة بعد توقف الضخ . الشكل يوضح أن منحنى الإستعادة يكون عملياً صورة مقلوبة لمنحنى الإنخفاض . يتأثر الشكل المضبوط لكل من هذه المنحنيات بالخصائص الطبيعية للخزان الجوفى . الإختبار التفصيلى لمنحنى الوقت ــ الإستعادة يمكن من التحليل لمعرفة هذه الخصائص .

النقط الموقعة على النصف الأيمن من الشكل (٤-٨) تمثل الإنخفاض المتبقى (Residual Draw Down) فى البئر أثناء فترة الإستعادة .كل واحدة تمثل الفرق فى منسوب المياه الاستاتيكى الأصلى والعمق إلى المياه عند لحظة محدودة أثناء فترة الإستعادة . كل قيمة عندئذ هى الإنخفاض المتبقى ــ المسافة التى يرتفع إليها منسوب المياه للوصول إلى منسوب المياه الاستاتيكى الأولى .

يجب أن تبنى القياسات لإستعادة منسوب المياه على منسوب مياه الضخ . النظرية الهيدروليكية للبئر وكفاءة الخزان الجوفى تفترض أن منسوب المياه يتغير أثناء فترة الإستعادة يكون نتيجة فرضية تصور حدوث الشحن للبئر . فى حالة قيام هذا البئر بضخ المياه فى الخزان الجوفى بنفس معدل ضخ البئر الحقيقى للمياه خارج الخزان الجوفى ، مع عمل كل من البئرين فى نفس الوقت بعد فترة معينة ، فإن منحنى الإستعادة سيكون كما فى الشكل (٤-٨) الإرتفاع فى منسوب المياه ، بسبب بئر الشحن التصورى ، يكون المسافة الرأسية بين إمتداد منحنى الوقت ــ الإنخفاض والمنحنى التصوري الحقيقى الوقت ــ الإنخفاض . الإستعادة تعنى عندئذ الفرق بين قياس منسوب المياه فى بئر الملاحظة فى وقت محدد بعد توقف الضخ والمنسوب الذى

يوجد عليه الماء عند إستمرار الضخ حتى هذه اللحظة .

عند التعريف بهذه الطريقة ، طريقة إستعادة منسوب المياه فى أى وقت يشابه نظرياً الإنخفاض فى نفس الوقت أثناء فترة الضخ . بطريقة أخرى الإستعادة خلال ٢٤ ساعة بعد توقف الضخ سيساوى الإنخفاض الذى تم قياسه لمدة ٢٤ ساعة بعد بدء الضخ . الإستعادة الكاملة عموماً تتطلب فترة أطول عن فترة الضخ ، عدا فى حالات حدوث الشحن للخزان الجوفى أثناء فترات الضخ والإستعادة بفرض بئر إختبار ٦" (١٥٢مم) وبئر ملاحظة على مسافة ٥٠ قدم (١٥,٢متر) .لإختبار الخزان الجوفى كما فى الشكل (٥-٨) بعد ضخ البئر بمعدل ٢٠٠ جالون / ق (١٠٩٠م٣/ى) لمدة ٥٠٠ق ، وتؤخذ قياسات منسوب المياه أثناء ٤٠٠ق من فترة الإستعادة . الجدول (٣) العمق إلى قياسات الماء فى بئر الملاحظة A والإنخفاض المتبقى للفترات الزمنية التى قيست من كل من إختبار بدء الضخ وبدء زمن الإستعادة . هذه الفترات يعبر عنها بالرموز t ، ٢ . النسبة بين الفترتين ٢ ، t موضحة فى الجدول (٣) .

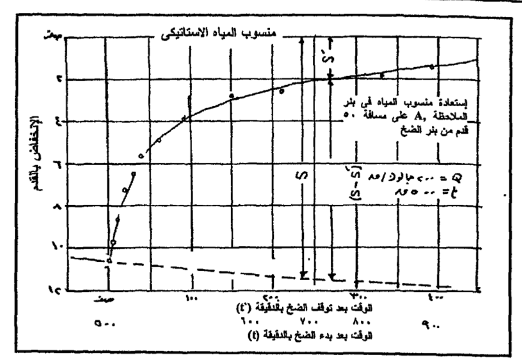
الشكل (٦-٨) يوضح منحنى الإستعادة موقع من بيانات الإختبار . إمتداد جزء الضخ للمنحنى يوضح الإنخفاض فى بئر الإختبار A الذى تم تصحيحه إذا كان الضخ مستمر . إستعادة منسوب المياه لفترات زمنية مختلفة هو الفرق بين المنحنيات فى هذا المخطط القيم موضحة فى الجدول (٣) . المنحنيات فى الشكل (٦-٨) لا تتناسب مع التحليل الرياضى . ويمكن تنسيقها للتحاليل بأحد طريقتين أحدهم طريقة (Theis) لمعادلة عدم الإتزان . وسبق أن أوضحنا أن منحنى الوقت ــ الإنخفاض لفترة الضخ يصبح خط مستقيم (عدا فى الجزء الصغير الأول من المنحنى) أو مخطط شبه لوغاريتمى . ونفس التبسيط يمكن إستخدامه لمنحنى الوقت ــ الإستعادة حيث التدريج الأفقى بين لوغاريتم الوقت أثناء الإستعادة والتدريج الرأسى يمثل إستعادة منسوب المياه (S– Ś) .

جدول (٣) الإنخفاض المتبقى وحساب الإستعادة فى بئر الملاحظة :

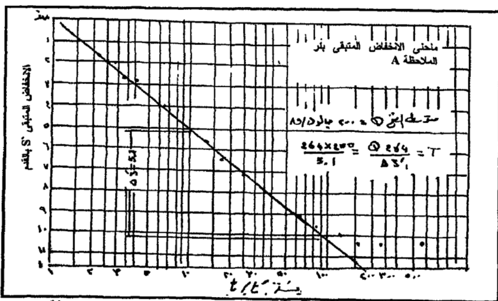
الوقت منذ بدء الضخ t دقائق	الوقت عند توقف الضخ t́ دقائق	نسبة t/t́	•العمق إلى الماء قدم	•الإنخفاض المتبقى قدم	×الإنخفاض S من منحنى الضخ	حساب الإستعادة S –Ś قدم
٥٠٠	صفر	—	١٨,٦	١٠,٦	١٠,٦	صفر
٥٠١	١	٥٠١	١٨,٤	١٠,٤	١٠,٦	٠,٢
٥٠٢	٢	٢٥١	١٨,٥	١٠,٥	١٠,٦	٠,١
٥٠٣	٣	١٦٨	١٨,٤	١٠,٤	١٠,٦١	٠,٢١
٥٠٤	٤	١٢٦	١٨,٠٩	١٠,٠٩	١٠,٦١	٠,٥٢
٥٠٦	٦	٨٤	١٧,٧٢	٩,٧٢	١٠,٦٢	٠,٩٠
٥٠٨	٨	٦٤	١٧,٢٢	٩,٢٢	١٠,٦٣	١,٤١
٥١٠	١٠	٥١	١٦,٦٤	٨,٦٤	١٠,٦٤	٢,٠٠
٥٢٠	٢٠	٢٦	١٥,٢٧	٧,٢٧	١٠,٦٧	٣,٤
٥٤٠	٤٠	١٣,٥	١٣,٦٣	٥,٦٣	١٠,٧٣	٥,١
٥٦٠	٦٠	٩,٣٥	١٢,٩٥	٤,٩٥	١٠,٨٠	٥,٨٥
٥٩٠	٩٠	٦,٥٥	١٢,٠١	٤,٠١	١٠,٩٦	٦,٩٥
٦٥٠	١٥٠	٤,٣٣	١٠,٨	٢,٨	١١,١٥	٨,٣٥
٧١٠	٢١٠	٣,٣٨	١٠,٧	٢,٧	١١,٣٥	٨,٦٥
٧٧٠	٢٧٠	٢,٨٥	١٠,٠٦	٢,٦	١١,٥٦	٩,٥٠
٨٣٠	٣٣٠	٢,٥١	٩,٩٦	١,٩٦	١١,٧٦	٩,٨٥
٨٩٠	٣٩٠	٢,٢٨	٩,٦	١,٦	١١,٩٥	١٠,٣٥

• منسوب المياه الإستاتيكى ٨ قدم (٢,٤٤متر) .

× متوسط معدل الضخ أثناء فترة الضخ السابق كان ٢٠٠ جالون / ق .



شكل (٦-٨) منحنى الانخفاض المتبقى من بئر الملاحظة ، بامتداد منحنى الوقت – الانخفاض ، موضع على مقاييس رياضية . وهذا يبين كيف تعين الاستعادة الحسابية فى أى لحظة أثناء فترة الاستعادة ، بئر الضخ كان يعمل بمعدل ٢٠٠ جالون / ق لمدة ٥٠٠ ق.



شكل (٧-٨) الانخفاض المتبقى مقابل النسبة t/t' يصبح خط مستقيم على ورقة شبه لوغاريتمية ، وهذا التوقيع يمكن من حساب الانتقال كما نرى ، الوقت خلال فترة الانتقال يزداد خلال اليسار فى المخطط

بيانات الاستعادة من بئر الضخ يمكن كذلك توقيعها وتحليلها بطريقة مماثلة . منحنى الوقت – الاستعادة لبئر الضخ أكثر دقة عن منحناه عن الوقت – الانخفاض بسبب أن قياسات منسوب المياه المتبقى أكثر دقة أثناء فترة الاستعادة ، يمكن عمل قياسات منسوب المياه بدون تدخل من اهتزازات الطلمبة وبدون التأثير بالتغيرات اللحظية فى معدل الضخ . الطريقة المناسبة لتوقيع البيانات تسمح الاستخدام المباشر بالانخفاض المتبقى بدون حساب الاستعادة من امتداد منحنى الوقت – الانخفاض . يمكن ملاحظة أن الانخفاض المتبقى مرتبط بلوغاريتم النسبة t/t' كالآتى :

$$S' = \; = \frac{2.40\,Q}{T}\ \text{Log } t/t$$

وهذه المعادلة توضح أنه عند توقيع قيم Ś مقابل القيم المقابلة للنسبة t/t' على ورقة مخطط شبه لوغريتمى ، يمكن رسم خط مستقيم خلال النقط الموقعة ، الشكل (٧–٨) يوضح البيانات من الجدول (٣) موقعه على مخطط شبه لوغاريتمى بقيم S' موضحة على مقياس رأسى رياضى وقيم t/t' على مقياس رياضى . الانتقال يحسب عندئذ من المعادلة التالية :

$$T = \frac{264\,Q}{\Delta S'}$$

حيث :

T = معامل الانتقال بالجالون فى اليوم لكل قدم .

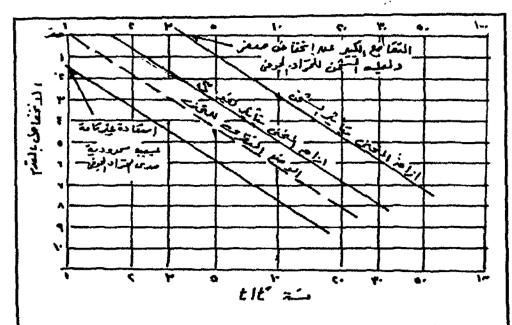
Q = معدل الضخ جالون فى الدقيقة .

ΔS' = التغير فى الانخفاض المتبقى لكل دورة لوغاريتمية لقيم t/t' بالقدم .

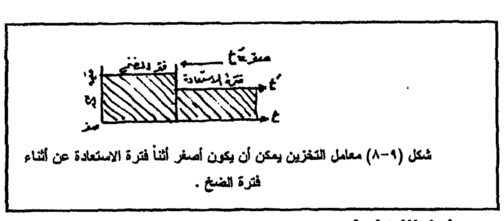
يلاحظ من الشكل (٣) أن الوقت خلال فترة الاستعادة يزداد فى اتجاه اليسار فى طريقة التوقيع هذه ، بينما على منحنيات الانخفاض يزداد الوقت فى اتجاه اليمين .

فى حالة عدم توفر بئر ملاحظة ، فإن بيانات الاستعادة من بئر الضخ سوف توفر عادة أفضل أساس لحساب الانتقال للخزان الجوفى .

منحنى الانخفاض المتبقى فى الشكل (٧–٨) يستخدم دائماً فى مثل هذه الحالة .



شكل (٨-٨) عند اختلاف الظروف الحقيقية للخزان الجوفى عند الظروف النظرية، فإن منحنى الانخفاض المتبقى يمكن أن يزاح إلى أى من الطرق الثلاث الموضحة على الشكل .



شكل (٨-٩) معامل التخزين يمكن أن يكون أصغر أثنا فترة الاستعادة عن أثناء فترة الضخ .

تعيين معامل التخزين : (Determining Storage Coefficient)

فى حالة عمل القياسات فى بئر اختبارى واحد على الأقل أثناء فترة الاستعادة، يمكن حساب معامل التخزين من التوقيع الشبه لوغاريتمى لـــ (S - S') مقابل لوغاريتم t . منحنى الانخفاض المتبقى لا يمكن استخدامه لتعيين معامل التخزين ،

ولكن هذا المنحنى يتلاءم مع حساب الانتقال .

بالإشارة إلى منحنى الانخفاض المتبقى فى الشكل (٧–٨) ، فإنه واضح أن قيم t'o لا يمكن الحصول عليها من هذا المخطط . المقياس الأفقى هو نسبة . تقاطع هذا المنحنى عند صفر انخفاض له معالم مختلفة تماماً على هذا المخطط .

لمناقشة هذه النقطة ، من الضرورى مراجعة الفرضيات الأساسية التى استخدمت فى تطوير المعادلات لتحليل بيانات الإختبار من كل من وقت الضخ ووقت الاستعادة لبئر الاختبار .

عند تطابق الخزان الجوفى لهذه الفرضيات ، فإن منحنى الانخفاض المتبقى عند امتداده جهة اليسار كما فى الشكل (٧–٨) سيمر خلال نقطة الانخفاض صفر حيث النسبة (t/t') تصبح متطابقة (Unity) . النسبة t/t' تقترب من الواحد الصحيح عند امتداد أطول فترة الاستعادة .

بعد فترة طويلة من الاستعادة ، فإن منسوب المياه فى الخزان الجوفى يميل إلى العودة إلى منسوب المياه الاستاتيكى الأصلى ، مع اقتراب الانخفاض المتبقى من الصفر عندما تقترب t/t' من واحد ، النسبة t/t تقترب من واحد مع امتداد أطول فترة الاستعادة.

بعد فترة طويلة من الاستعادة فإن منسوب المياه فى الخزان الجوفى يميل إلى العودة إلى منسوب المياه الاستاتيكى الأصلى ، مع اقتراب الانخفاض المتيقى من الصفر عند اقتراب t/t' من الواحد . نظرياً فإن منحنى الانخفاض المتبقى سوف يمر خلال الركن الأيسر العلوى من المخطط شكل (٧–٨) .

دراسة منحنيات الانخفاض المتبقى من الاختبارات الحقيقية للخزان الجوفى أظهرت أن المنحنى لا يمر دائماً خلال هذه النقطة . والتى يمكن أن تسمى أصل المخطط ، عند عدم مرور المنحنى خلال الأصل ، يتضح من هذا أن ظروف الخزان الجوفى لا تتطابق مع الظروف المثالية المفروضة .

يمكن توضيح ثلاث حالات حيث تختلف من الخزان الجوفى النظرى بمنحنى الانخفاض المتبقى . فى حالة صفر انخفاض فى المخطط عند قيمة t /t' = ٢ أو أكثر ، ينتج من هذا أن هناك شحن يحدث أثناء فترة الضخ . نتيجة الشحن هو العودة إلى الاستعادة الكاملة لمنسوب المياه الاستاتيكى الأصلى أثناء فترة شحن قصيرة نسبياً – قبل اقتراب t/t' من واحد . المنحنى العلوى فى الشكل (٨–٨) يوضح هذه الحالة .

تتضح حالة مختلفة عندما يبين المنحنى على اليسار انخفاض متبقى لعدة بوصات أو أكثر عند اقتراب t/t' من واحد ، تحدث هذه الحالة عندما يكون الخزان الجوفى محدود ولا يحدث شحن . المنحنى السفلى من الشكل (٨–٨) يوضح نتيجة هذا النوع .

الحالة الثالثة التى يمكن أن تكون بسبب الإزاحة القليلة لمنحنى الانخفاض تنتج من التغير فى قيمة معامل التخزين S . نظرياً ، معامل التخزين يفترض أن يكون ثابت . عملياً احتمال تغير قيمة S حيث تكون أكبر أثناء فترة الضخ أكثر منه أثناء الاستعادة التالية . قيمة S لخزان جوفى محصور تتوقف على الخاصية الإلاستيكية (Elastic) للتربة الحاملة . فى حالة عدم الإلاستيكية للطبقة تماماً فإنها لا تعود رأسياً بنفس معدل انضغاطها نتيجة الانخفاض أثناء الضخ السابق . (Elastic – تعنى خاصية مطاطية ولكن بعد التمدد لا تعود إلى الأصل) . أثناء الضخ من خزان جوفى غير محصور فإن الهواء يشغل الفراغات فى الرمال فى منطقة قمع الانخفاض نظراً لأن هذا الجزء من التربة تم سحب المياه منه . حجم المياه المسحوبة لكل قدم مكعب من التربة هو قيمة S . عند توقف الضخ فإن خط المياه الصاعد قد يحتوى على بعض الهواء كفقاعات فى مسام الرمال . لهذا فإن حجم من المياه أصغر قليلاً سيعيد ملء الجزء من التربة التى سبق سحب المياه منها . بما ينتج عنه قيمة أصغر لـــ S أثناء الاستعادة . الشكل (٩–٨) يوضح الموقف فى أبسط صورة ، حيث تظهر قيمه S أثناء فتره الاستفادة بما يعادل ثلثى قيمتها أثناء فتره الفتح . تأثير التغيير فى قيمه t /t' = ٢على مخطط الإنخفاض المتبقى موضح بالمنحنى الأوسط فى الشكل (٨–٨) بينما أن تحليل

بينات الإنخفاض يفيد فى تقدير نتائج إختيارات ثبات معدل الفتح ، فأن هذه البيانات لا يمكن استخدمها للحصول على منحنى المسافة من الانخفاض .

ولكن هناك معلومات آخرى من الاختيار يمكن الاستفادة بها . يمكن إفتراض قيمه لمعامل التخزين ، مبنيه على معلومات عن ما هو الخزان الجوفى الذى يتم التعامل معه إن كان خزان جوفى محصور (Artisian) أو غير محصور . المعرفة الجيولوجيه توفر دليل لهذا فى معظم الحالات .

بالنسبة للخزان الجوفى المحصور نفترض قيمه S = ٠,٠٠٥ ، وبالنسبة للخزان الجوفى الغير محصور تستخدم قيمه S =٠,١ . نتائج الحسابات ستكون أقل دقه عن معرفة القيم الحقيقية . بينما أن معظم الخزانات الجوفية لا تتطابق مع كل الحالات النظرية المفروضة بواسطة فرضية (theis) ، إلا أن الخبره فى تطبيق المعادلات وعلاقاتها أثبت أنها جيدة . فى حالة عدم تجانس الخزان الجوفى كالقرصنيه فإن التداخل الهيدروليكى خلال التكوينات الجيولوجيه ينتج عنه إستمرار ضبط التدفق بين المناطق المحلية ذات الاختلاف في النفازية . قمع الإنخفاض عندئذ يميل إلى العمق والانتشار بطريقة تعكس القيم المتوسطة الكلية لخصائص الخزان الجوفى من ناحيه الانتقال والتخزين (transmissivity And storage) .

قيم T وS يجب إعتبارها قيم متوسطة للمساحة . وبالتالى يجب أن تتوقع بعض الاختلافات فى إنتاجيه البئر فى موقع الآبار المختلفة عند تقدير الكفاءة من نتائج إختيارات الخزان الجوفى .

الخلاصة :

هذه الطرق الرياضية المستخدمه عادة لحساب الخصائص الرئيسية للخزان الجوفى t وS تم مناقشتها . معرفة هذين المعيارين للحزان الجوفى تمكن من حساب الطاقة النوعية (specific Capacity) ، الطاقة النتاجيه (potential Yield) ، الانخفاض (Draw-Down) عند أى نقطة بعيده عند البئر ، وكفاءة البئر .

الفصل التاسع

تصميم بئر المياه

Watar Well Design

٩

تصميم بئر المياه :

تصميم البئر هو عملية توصيف المواد الطبيعية والأبعاد للبئر . ويهدف التصميم الجيد لتأكيد الآتى :

- أقصى إنتاجية مع أدنى انخفاض بالنسبة لقدرة الخزان الجوفى .
- التوعية الجيدة للمياه مع الحماية من التلوث .
- المياه خالية من الرمال .
- عمر افتراضى طويل للبئر (٢٥ عام أو أكثر) .
- تكاليف قصيرة الأجل وطويلة الأجل معقولة .

وتشمل الأعمال الهندسية الأخذ فى الاعتبار هذه الأهداف جميعها ، رغم أن تصميم البئر قد تبدو خطواتها سهلة ، إلا أن الظروف الهيدرولوجية المحلية والاعتبارات العملية تعقد تصميمات آبار كثيرة . الخطوط الإرشادية للتصميم الموضحة بعد تركز أساساً على تصميم آبار الاستخدام المنزلى لإنتاج مياه الشرب والآبار للأغراض الصناعية والرى ، هذه الآبار يجب أن تصمم لضخ أقصى إنتاج ممكن من الخزان الجوفى ، والحصول على أعلى كفاءة ، والحصول على مياه خالية من الرواسب . هذه العوامل لها تأثيرها المباشر على تكاليف التشغيل . عامل اقتصادى هام آخر وهو الفقد الناتج من اضطراب الخدمة في تنمية إمداد المياه الكبير. التصميم الجيد يقلل هذه المخاطر ببناء الاعتبارات فى مياه الآبار التى تؤكد العمل لفترة طويلة للبئر خالية من المشاكل . فى هذا المجال سيتم مناقشة العوامل الخاصة بالتصميم والمتعلقة بآبار الاستخدام المنزلى والرى والتنمية .

مهندس التصميم يجب أن يقدر الاحتياجات المائية ويصمم البئر على الأساس حيث لا يجوز تصميم بئر يحقق إنتاجية ١٦٤٠ م٣ / اليوم بينما الاحتياجات هى ٨١,٨م٣ / اليوم . كما لا يجوز استخدام الصنع للقيسون (Casing) من مواد غير مناسبة أو مصفاة البئر (Wellscreen) بالحجم الغير مناسب أو من مواد غير مناسبة لخفض التكاليف الأولية . وهذا سوف يزيد من تكاليف الضخ والصيانة ويؤثر على

العمر الافتراضى للبئر .

كل بئر يتكون من عنصرين رئيسيين ، القيسون (Casing) والمأخذ ، القيسون يعمل كغطاء (Housing) لمعدة الضخ والماسورة الصاعدة لتدفق المياه إلى أعلى من الخزان الجوفى . بعض أطوال قطر الحفر للبئر تعمل كماسورة حيث تترك بدون غطاء (Uncased) وذلك عند إنشاء البئر فى منطقة صخرية متماسكة . جزء المأخذ للآبار فى الخزانات الجوفية ذات التربة الغير متماسكة أو شبه متماسكة عادة يجهز بمصفاة لمنع دخول الرواسب مع المياه وفى الوقت نفسه لتعمل كمنشأ ساند للتربة المفككة للخزان الجوفى . وفى الوقت نفسه يجب ألا تعيق المصفاة تدفق المياه إلى البئر . مصفا البئر المنشأة جيداً تسمح بدخول المياه بحرية وبسرعة بطيئة ، وتمنع من دخول الرمال مع المياه وتعمل كحائط ساند للتربة المفككة .

فى الخزانات الجوفية ذات التربة المتماسكة يكون جزء عادة من قطر الحفر مفتوح مباشرة للخزان الجوفى بالعمق المناسب . حيث إنتاجية البئر فى هذه الحالة تتوقف على عدد وقطر واستمرارية الفتحات فى الطبقة الصخرية للخزان الجوفى .

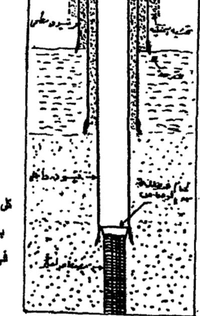
قطر البئر [قطر القيسون– Casing Diameter]

يعتبر اختيار قطر قيسون البئر من الأهمية بما يؤثره على التكاليف . حيث يجب اختيار القطر بما يحقق عاملين هما (١) أن القيسون يجب أن يكون كبيراً بما يكفى لاحتواء الطلمبة مع وجود الفاصل الكافى الخاص بتركيبها وكفاءة عملها . (٢) أن قطر القيسون يجب أن يكون كبيراً بما يحقق سرعة صاعدة للمياه ١,٥ متر فى الثانية (٥ قدم / الثانية) أو أقل .

يعتبر قطر الطلمبة اللازمة لطاقة الإنتاج المطلوبة هى العامل الحاكم فى اختبار قطر القيسون . يوصى بأن يكون قطر القيسون ضعف القطر الإسمى للطلمبة . وفى جميع الحالات فإن قطر القيسون يجب أن يزيد عن القطر الخارجى لجسم الطلمبة بما لا يقل عن قطر إسمى واحد للطلمبة . الجدول (١) يوضح قطر القيسون الذى يوصى به لحالات معدلات الضخ المختلفة . فى حالة زيادة سرعة المياه الصاعدة عن ١,٥ متر/

الثانية يحدث فقد كبير بالاحتكاك . بالنسبة لأقطار القيسون ومعدلات الضخ الموضحة فى جدول (١) فإن الفقد فى الضغط (Head hoss) سيكون صغيراً . القيم النظرية للطاقة النوعية لمجال خصائص الخزان الجوفى يمكن استخدامها فى تقدير الطاقة الإنتاجية للبئر. الطاقة النوعية النظرية لحالة معينة يجب تخفيضها باستخدام معامل يمثل كفاءة البئر . وبضرب هذه النتيجة بالإنخفاض المتاح أو المتوقع يعطى تقدير لإنتاجية البئر . فى حالة اختيار قطر القيسون طبقاً للجدول (١) سيكون هناك فاصل مناسب للطلمبة التربينية الرأسية ، مع استقامة عامود للطلمبة ولا تحدث له إعاقة حتى فى حالة الحيود القليل فى استقامة البئر وعدم استقامته تماماً . الفاصل مناسب تماماً للطلمبة الغاطسة . كذلك ، فى حالة تركيب الطلمبة أسفل أى مقطع به مصفاة (Screened Section) ، سيكون هناك مساحة كافية حول رأس الطلمبة لتسمح بمرور المياه إلى أسفل مع أدنى فقد فى الضغط لمأخذ الطلمبة .

فى حالة الآبار العميقة حيث مناسيب الضخ من المتوقع أن تكون مرتفعة نسبياً ، يمكن خفض قطر البئر عند نقطة ما أسفل أدنى منسوب متوقع لوضع الطلمبة يحدث هذا فى كثير من الآبار التى تنشأ فى الخزانات الجوفية المحصورة (الإرتوازية) حيث الضغط الإرتوازى(Artisian Head) يكون مرتفع نسبياً (شكل ١-٩)



كل (١١-٩) بئر عميق منشأ باستخدام قيسونات متدرجه فى الصفر على أعماق كبيرة مع وجود تطابق

جدول (١) قطر البئر الذى يوصى به لمعدلات الضخ المختلفة :

تصرف البئر المقدر جالون/ق م٣/ى	القطر الاسمى الخارجى للطلمبة بوصة	 مليمتر	أقصى قطر لقيسون البئر بوصة مليمتر	أصغر قطر لقيسون البئر بوصة مليمتر
أقل من ١٠٠– أقل من ٥٤٥	٤	١٠٢	٦(داخلى)-١٥٢(داخلى)	٥(داخلى)-١٢٧(داخلى)
٧٥إلى١٧٥-٤٠٩إلى٩٥٤	٥	١٢٧	٨(داخلى)-٢٠٣(داخلى)	٦(داخلى)-١٥٢(داخلى)
٥٠إلى٣٥٠-٨١٨إلى١٩١٠	٦	١٥٢	١٠(داخلى)-٢٥٤(داخلى)	٨(داخلى)-٢٠٣(داخلى)
٣٠٠إلى٧٠٠-٦٤٠إلى٣٨٢٠	٨	٢٠٣	١٢(داخلى)-٣٠٥(داخلى)	١٠(داخلى)-٢٥٤(داخلى)
٥٠٠إلى١٠٠٠-٢٧٣٠إلى٥٤٥٠	١٠	٢٥٤	١٤(خارجى)-٣٥٦(خارجى)	١٢(داخلى)-٣٠٥(داخلى)
٨٠٠إلى١٨٠٠-٤٣٦٠إلى٩٨١٠	١٢	٣٠٥	١٦(خارجى)-٤٠٦(خارجى)	١٤(خارجى)-٣٥٦(خارجى)
٢٠٠إلى٣٠٠٠-٦٤٥٠إلى١٦٤٠٠	١٤	٣٥٦	٢٠(خارجى)-٥٠٨(خارجى)	١٦(خارجى)-٤٠٦(خارجى)
٢٠٠٠إلى٣٨٠٠-١٠٩٠٠إلى٢٠٧٠٠	١٦	٤٠٦	٢٤(خارجى)-٦١٠(خارجى)	٢٠(خارجى)-٥٠٨(خارجى)
٣٠٠٠إلى٦٠٠٠-١٦٤٠٠إلى٣٢٧٠٠	٢٠	٥٠٨	٣٠(خارجى)-٧٦٢(خارجى)	٢٤(خارجى)-٦١٠(خارجى)

عند اختيار الطلمبة ، يلزم على المهندس المصمم للبئر الحصول على المعلومات من مورد الطلمبة الخاصة بالتصرف المطلوب ، وظروف الضغط ، كفاءة الطلمبة المطلوبة .

قطر القيسون مبنى على القطر الخارجى لرأس الطلمبة (Bowl) بالنسبة للطلمبة التربينية ، على القطر الخارجى لرأس الطلمبة أو لقطر الموتور بالنسبة للطلمبة الغاطسة .

عمق البئر : Well Depth

العمق المتوقع للبئر يتم تحديده عادة من لوغاريتم بئر الاختبار (Test Hole) من لوغاريتمات آبار أخرى قريبة لنفس الخزان الجوفى أو أثناء الحفر لبئر إنتاج . عموماً يتم اكتمال البئر حتى قاع الخزان الجوفى . يتم ذلك لسببين هما (١) زيادة الاستفادة من سمك الخزان الجوفى لإمكان استخدامه كجزء من مأخذ البئر بما ينتج عنه زيادة للطاقة النوعية (٢) إمكانية زيادة الانخفاض بما يسمح بزيادة إنتاجية البئر . هناك استثناء واحد لهذه القاعدة حيث المصفاة توضع فى المنتصف ما بين قمة وقاع البئر .. كما يحدث فى الخزانات الجوفية المحصورة المتجانسة وذلك لزيادة كفاءة استخدام طول المصفاة المعطى .

كما أن هناك موقف يتطلب الحيود عن هذه القاعدة حيث المياه ذات النوعية الرديئة توجد فى الجزء السفلى للخزان الجوفى . فى مثل هذه الحالة يتم استكمال البئر إلى العمق حيث يتم تجنب المياه الغير مرغوبة والحصول على أفضل نوعية من المياه متوفرة . عمق البئر فى الصخور البللورية يمكن أن يحدد كذلك بعوامل التكلفة .

طول مصفاة البئر (Well Screen Length) :

أقصى طول لمصفاة البئر يتم اختياره بالنسبة لسمك الخزان الجوفى ، الانخفاض المتاح وتكوين الخزان الجوفى من عدة طبقات (Stratification Of the Well) . القواعد المطبقة لأربع حالات كنماذج كالآتى :

الخزانات الجوفية الارتوازية المتجانسة [المحصورة] :

فى هذا النوع من الخزانات الجوفية ، يتم وضع المصفاة فى ٧٠ – ٨٠ % من سمك الرمال الحاملة للمياه ، مع افتراض أن منسوب ضخ المياه غير متوقع أن يكون تحت قمة الخزان الجوفى . أعمال التصميم الجيدة تملى أن أقصى انخفاض متاح فى البئر الارتوازى سيكون المسافة من منسوب المياه الاستاتيكى حتى قمة الخزان الجوفى .

فى حـــالة سمك الخزان الجوفى أقل من ٢٥ قدم فإن العمق الكافى للمصفاة يمثل ٧٠% من السمك . فى حالة زيادة السمك عن ٥٠ قدم يتم تجهيز ٨٠% من السمك بمصفاة . أطوال المصفاة المقابلة لهذه القاعدة تمكن من الحصول على ٩٠% أو أكثر من الطاقة النوعية التى يمكن الحصول عليها فى حالة تركيب المصفاة فى العمق الكلى للخزان الجوفى . يمكن الحصول على أفضل النتائج بوضع منتصف المصفاة فى منتصف البئر أو بتقسيم المصفاة إلى قطاعات متساوية الطول مع وضع وصلات عمياء بين قطاعات المصفاة .

خزان جوفى محصور مكون من طبقات (Stratified Artisian Aquifers)

فى هذا الخزان يكون من الواضح وضع المصفاة فى الطبقات من التربة ذات النفاذية . يمكن تحديد أكثر الطبقات نفاذية أو إنتاجية عادة بأحد التقنيات الآتية :

١ – عمل اختبار النفاذية على عينات التى تمثل الطبقات المتتالية للتربة الحاملة للمياه.
٢ – عمل تحليل المنخل لعينات مماثلة للطبقات المتتالية للخزان الجوفى . ومقارنة منحنيات حجم الحبيبات يمكن أن يوضح النفاذية النسبية لكل عينة . فى حالة عدم الاختلاف الكبير للعينات بالنسبة للتجانس فإن النفاذية النسبية يمكن تقديرها بمقارنة مربع الأحجام المؤثرة (Effechve-Sizes) .
٣ – الفحص المباشر والمقارنة تتم على عينات ممثلة لكل طبقة . النفاذية النسبية لكل تقدر من ملاحظة خشونة ونظافة المادة .

هذه التقنيات مرتبة حسب درجة الاعتماد عليها ، وكذلك طبقاً للتكاليف أى أن الأول هو الأكثر اعتماداً عليه والأكثر تكلفة . يوصى بعمل تحليل منخل على عينات التربة للآبار .

الخزانات الجوفية الغير محصورة والمتجانسة :

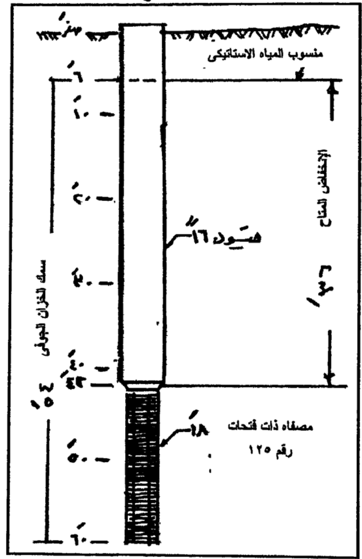
Homogenous Watertable Aquifers

طبقاً للنظريات والخبرة فقد ثبت أن تركيب المصفاة عند الثلث السفلى للخزان الجوفى الغير محصور يوفر أفضل تصميم لهذه الحالة . فى بعض الحالات تنشأ المصفاة فى النصف السفلى للخزان الجوفى للحصول على طاقة نوعية عالية . فى بعض الحالات يكون من المرغوب فيه الحصول على كفاءة عالية أفضل من الحصول على الإنتاجية الكلية (Total Tield) .

بالنسبة للآبار الغير محصورة يعتبر اختيار طول المصفاة هو نوع من المقارنة بين عاملين. على جانب تزداد الطاقة النوعية باستخدام مصفاة طويلة ما أمكن ذلك ، وعلى الجانب الآخر احتمال زيادة الانخفاض باستخدام مصفاة قصيرة ما أمكن ذلك . هذين العاملين المتناقضين يمكن تأمينهم باستخدام مصفاة بئر ذات كفاءة . الانخفاض المتاح هو المسافة بين منسوب المياه الاستاتيكى والنهاية العليا للمصفاة . بئر المياه محصور يضخ عادة بما يجعل منسوب الضخ للمياه يظل عدة أقدام أعلا النهاية العليا للمصفاة . توضع المصفاة فى الجزء السفلى للخزان الجوفى ، نظراً لأن

الجزء العلوى للخزان الجوفى يتم بالضرورة سحب المياه منه ليسبب حركة المياه نحو البئر .

الشكل (٢-٩) يوضح نموذج لتصميم بئر فى خزان جوفى غير محصور ومتجانس من ناحية التربة. هذا البئر صمم لضخ ١٥٠٠ جالون فى الدقيقة باستمرار. يلاحظ أن طول المصفاة حوالى ثلث السمك المشبع للرمال المتجانسة .



شكل (٢-٩) طول المصفاة يساوى ثلث السمك المشبع للخزان الجوفى الغير محصور والمتجانس يعتبر اختيار جيد

الخزان الجوفى الغير محصور والغير متجانس [مكون من طبقات]:

(Stratified Water Table Aquifers)

مبادئ التصميم المطبقة للخزان الجوفى الغير متجانس المحصور تناسب كذلك فى تصميم بئر فى الخزان الجوفى الغير محصور والمتجانس . الاختلاف الوحيد فى حالة الخزان الجوفى الغير محصور هو بوضع المصفاة أو مقاطع المصفاة فى الجزء السفلى للطبقة الأكثر نفاذية لتوفير أقصى انخفاض متاح .

فتحات مصفاة البئر : (Well Screen Slot Openings)

فى حالة البئر ذو التنمية الطبيعية Naturally Developed . فتحات مصفاة البئر يتم اختيارها من دراسة بيانات تحليل المنخل لعينات ممثلة للتربة الحاملة للمياه . يتم توقيع منحنى تحليل الرمال لكل عينة . بالنسبة للتربة المتجانسة التى تتكون من رمال ناعمــــة متماثلة ، فإن قطــــر فتحات المصفاة يتم اختياره كالقطر الذى يحجز من ٤٠–٦٠% من الرمال .

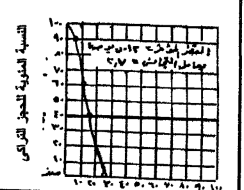
لتحديد قطر فتحة المصفاة الصحيحة ، يكون من الضرورى فقط اختيار النقطة على المخطط حيث الخط ٤٠% (أو ٦٠ %) يقطع منحنى تحليل الرمل ثم يتم تعيين قطر فتحة المصفاة من المقياس الأفقى.الشكل (٣ –٩) مثال لمنحنى قطر الحبيبات ممثلاً لرمل متجانس . لإنشاء مصفاة فى هذه الرمال ، فإن قطر فتحة المصفاة المناسب يكون ٠,٠١٦ بوصة فى حالة حجز المصفاة ٤٠% من الرمال أو ٠,٠١٢ بوصة فى حالة حجز ٦٠ % .

قطر الــ ٤٠ % يتم اختباره عادة فى حالة عدم عدوانيه المياه وكذلك عند وجود قليل من الشك مثل عدم الثقــة فى عينة الرمال . وعلى الجانب الآخر يتم اختبار قطر ٦٠% فى حالة المياه العدوانية أو فى حالة الشك فى عنية المياه لأنه الاختيار الأكثر اعتدالاً حيث المياه العدوانية تسبب كبر لفتحات بعض جزء من ألف من البوصة بسبب التآكل بما يمكن أن يسبب إنتاج رمال من البئر فى حالة تكوينات

التربة المتجانسة التى تتكون من رمال وزلط خشن ، لدى المصمم مجال أكبر فى اختبار قطر الفتحات . منحنى قطر الحبيبات للرمال والزلط يكون أكثر استواءاً عن منحنى الرمال الناعمة شكل (٤-٩). التغير القليل من الألف من البوصة فى حجم الفتحات فى مثل هذه الحالة يسمح فقط بفرق صغير فى كمية المواد التى ستمر خلال مصفاة البئر أثناء التنمية للبئر . فى حالة حجز الفتحات لـــ٤٠% ، يتم دخول مواد أكثر خلال المصفاة أثناء عملية التنمية .

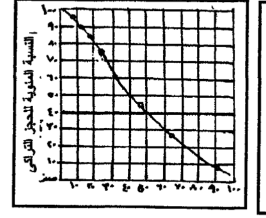
رغم زيادة تكاليف التنمية فإن فائدة زيادة مساحة المصفاة نتيجة زيادة قطر الفتحة، ففى حالة المياه المسببة للترسيبات يمكن توقع زيادة فترة الخدمة للمصفاة قبل حدوث الإنسداد الذى يسبب خفض فى إنتاجية البئر. كبر قطر الفتحات كذلك يمكن من زيادة سمك المنطقة حول المصفاة فى حالة التنمية للبئر . وهذا عموماً يزيد الطاقة النوعية للبئر ويزيد كفاءته .

الاختبار الأكثر مناسبة لقطر فتحة المصفاة عند وجود شك فى الاعتماد على العينات حيث الخزان الجوفى غير سميك ومحتوى على مواد مفككة ذات حبيبات صغيرة أو فى حالة وقت التنمية مناسب اقتصادياً . فى مثل هذه الحالات فإن قطر الفتحة الذى يحجز ٥٠ إلى ٦٠ % من مادة الخزان الجوفى يكون هو المفضل .



قطر الحبيبات على ألف من البوصة

شكل (٣-٩) القطر المؤثر للرمال هو قطر الحبيبات الذى يقابل ٩٠% حجز معامل التجانس هو ٤٠% من الحجز مقسوماً على القطر المؤثر



قطر الحبيبات على ألف من البوصة

شكل (٤-٩) من منحنى حجم الحبيبات هذا رقم ٥٠ (٠,٠٥٠ بوصة) أو فتحة أقل قليلاً يتم اختيارها لمصفاة البئر لأجل التنمية الطبيعية للبئر

الخزانات الجوفية الغير متجانسة توجد بكثرة فى الطبيعة : (Stratified)

عند التعامل مع التكوينات الغير متجانسة يتم اختيار قطر فتحة المصفاة للقطاعات المختلفة لمصفاة البئر طبقاً لتدرج المواد فى الطبقات المختلفة . كل مقطع فى المصفاة يتم اختيار فتحاته لتناسب المواد فى كل طبقة مستقلة طبقاً للقواعد السابق توضيحها بالنسبة للرمال الرفيعة والرمال الخشنة والزلط . عند اختيار فتحات لمصفاة ذات فتحات متعددة الأقطار يطبق قانونين إضافيين :

قانون رقم (١) فى حالة أن تكون المواد الرفيعة تعلو المواد الخشنة ، يتم امتداد ما لا يقل عن ٢ قدم للمصفاة ذات الفتحات المصممة للمواد الرفيعة إلى أسفل فى طبقة المواد الخشنة أسفلها .

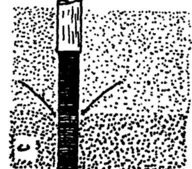
قانون رقم (٢) فى حالة أن تكون المواد الرفيعة تعلو المواد الخشنة ، فإن حجم فتحات مقطع المصفاة للمواد الخشنة لا يزيد عن ضعف قطر فتحة المصفاة التى تعلوها للمواد الرفيعة .

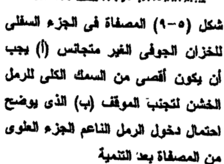
تطبيق هذين القانونين يقلل من احتمالات ضخ الرمال وخاصة عندما يكون العمق ما بين قمة وقاع كل طبقة مختلفة لم يتم تحديده بدقة . الدليل نحو اختيار قطر فتحة المصفاة يشير إلى أن حوالى ٦٠ % من مادة التربة تمر خلال فتحات المصفاة أثناء عملية التنمية . إزالة هذا الجزء ينتج عنه استقرار ورسوخ التربة حول المصفاة . وهذا يسمح للمواد من أعلى لتستقر كذلك .

الشكل (٥-٩) يوضح ماذا يمكن حدوثه فى حالة عدم تطبيق القانون الأول من القوانين السابقة . حيث مقطع المصفاة لقطر فتحات تناسب الرمال الخشنة يبدأ عند تغير التربة حيث التقابل بين الطبقتين . ونظر لأن الجزء الرفيع للطبقة السفلى يتم إزلته أثناء التنمية يمكن حدوث تراكمات من الرمال الناعمة العلوية ، وهذا يمكن الرمال الناعمة من المرور خلال الجزء السفلى من المصفاة عندئذ يحدث استمرار ضخ الرمال .

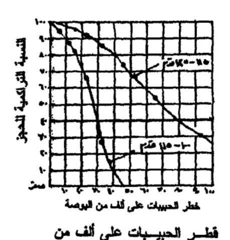
تطبيق هذين القانونين معاً يمكن توضيحه بمثال . منحنيات تحليل الرمال فى الشكل (٦-٩) توضح طبقتين من التربة تكونات الخزان الجوفى الإرتوازى بسمك ٢٥ قدم . التصميم الجيد يتطلب وضع المصفاة فى الجزء السفلى لتكوينات التربة بطول ١٨ قدم والذى يعنى أكثر من نصف المصفاة فى الجزء من التربة لأكثر نفاذية . للتقدير السريع للموقف ، يكون من المناسب وضع البيان المتوفر فى جدول تصميمى كما هو موضح في الجدول (٢) .







شكل (٥-٩) المصفاة فى الجزء السفلى للخزان الجوفى الغير متجانس (أ) يجب أن يكون أقصى من السمك الكلى للرمل الخشن لتجنب الموقف (ب) الذى يوضح احتمال دخول الرمل الناعم الجزء العلوى من المصفاة بعد التنمية



قطـر الحبيـبات على ألف من البوصة

شـكل (٦-٩) منحنـيات حجم الحبيبات تمثل الأجزاء الناعمة والخشـنة لخـزان جوفـى من الرمال الغير متجانسة (طبقات)

جدول (٢) جدول تصميم قطر فتحة المصفاة .

العمق بالقدم	السمك بالقدم	القطر المؤثر على ألف من البوصة	مربع القطر المؤثر	فتحة المصفاة الممكنة على ألف من البوصة		
١٠٠إلى١١٥	١٥	١٠	١٠٠	٢٨	٣٠	٣٢
١١٥إلى١٢٥	١٠	٢٦	٦٧٦	٦٨	٨٠	٩٥

يوضع فى الجدول أولاً عمق وسمك كل طبقة ، قطر الحبيبات المؤثر لكل عينة ، ٤٠% حجز لكل عينة . مربع القطر المؤثر أكبر وأقل من ٤٠% حجز تراكمى (٥٠% ، ٣٠%) يتم تدوينها ، هذه الأحجام يمكن اعتبارها قيم للمصفاة فى كل طبقة بنفسها بدون اعتبار لوجود طبقة أخرى فوقها أو تحتها .

قطر الفتحات للمصفاة المستخدمة فى تكوينات من طبقتين فقط يمكن اختيارها بسرعة بدون استخدام جدول التصميم ولكن فى حالة المقارنة لعدد كبير من العينات لمواد من طبقات مختلفة فإن الجدول التصميمى يعتبر مفيد للغاية أفضل تصور لتطبيق القاعدتين الموصى بهما بالمثال التالى .

المنحنيات فى الشكل (٧-٩) يمثل قطر الحبيبات توزيع الحبيبات للأربع طبقات التى تكون الــ٦٥ قدم السفلى لخزان جوفى غير محصور بسمك ٢٠٠ قدم . قطر الحبيبات للمادة فوق الخزان الجوفى مباشرة يلزم تعيينه كذلك . التصميم الجيد يتطلف وضع المصفاة فى الثلث الأسفل للتربة سمك ٦٥ قدم . لتقدير الموقف يتم عمل مخطط مع توقيع المعلومات فى جدول التصميم شكل (٨-٩) والجدول (٣) . عمق وسمك كل طبقة لنسبة حجز ٥٠ ، ٤٠ ، ٣٠ % لكل عينة يتم تسجيلها . التوصيل الهيدروليكى Hydroulic Conductivity عندئذ يمكن تقديره من المنحنيات فى الشكل (٨-٩) . مجال قطر الحبيبات فوق وأسفل نسبة قطر ٤٠% يتم تعيينه . ستكون هذه القيم التى يمكن اعتبارها للمصفاة فى كل طبقة معزولة بدون اعتبار للطبقة الأخرى .

فى حالة تركيب المصفاة ٦٥ قدم فى الجزء السفلى من الخزان الجوفى فإن قمة المصفاة تكون عند ٣٥٠ قدم والتى يمكن حجزها بمصفاة قطر فتحاتها ٠,٠٢٠ بوصة أى أن الرواسب العليا لها نفس القطر كتلك التى توجد من ٣٥٠ إلى ٣٦٣ قدم . لذلك جزء المصفاة فى الطبقة العليا سيكون قطر الفتحات به ٠,٠٢٠ بوصة . الطبقة التالية ٠,٠٥٠ بوصة ، الطبقة التالية ٠,٠٣٠ بوصة والطبقة الأخيرة ٠,٠٦٠ بوصة .

وبتطبيق القواعد الأولى فإن الفتحات الرفيعة لجزء المصفاة العلوى (٣٥٠ إلى ٣٦٣ قدم) يجب أن يمتد لا يقل عن ٣ قدم إلى التربة أسفلها الأكثر خشونة . وهذا يجعل الحد السفلى لجزء المصفاة بقطر فتحات ٠,٠٢٠ بوصة عند ٣٦٦ قدم . تطبيق التوصية الثانية توصى بأن قطر الفتحات لا يمكن أن يزيد عن الضعف (٠,٠٤٠ بوصة) من ٣٦٦ إلى ٣٦٨ قدم . من ٣٦٨ إلى ٣٨٣ قدم فإن قطر الفتحات يتبع ثانياً قطـــر نسبة الحجز ٤٠% . الرواسب من ٣٨٣ إلى ٣٩٣ قدم أكثر نعومة ويكون قطر الفتحات ٠,٠٣٠ بطول ٣ قدم يوصى بوضعها من ٣٩٥ إلى ٣٩٨ قدم . من ٣٩٨ إلى ٤١٥ قدم فإن قطر فتحة المصفاة يكون ٠,٠٦٠ بوصة . الاختيار الكامل لفتحات المصفاة موضح فى الشكل (٩-٩) .

فى حالة الأخذ الدقيق للعينات من أعماق معروفة ، فإن المصمم يمكنه تصميم المصفاة لتناسب ظروف الخزان الجوفى فى موقع البئر وهذا لا يكلف أكثر من استخدام مصفاة ذات قطر فتحات متعددة . إن استخدام مصفاة ذات قطر الفتحات المناسبة يناسب كل طبقة ترسيبات سيساعد فى تحقيق أقصى طاقة نوعية كما يقلل إلى حد كبير احتمال ضخ الرمال مع المياه .

جدول (٣) جدول التصميم لقطر فتحات المصفاة

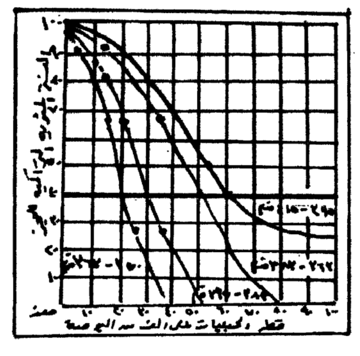
العمق بالقدم	السمك بالقدم	التوصيل الهيدروليكى جالون/يوم/قدم٢	الانتقال جالون/يوم/قدم	فتحة المصفاة بالبوصة
٣٥٠-٣٦٣	١٣	٥٠٠	٦٥٠٠	٠,٠١٩ ٠,٠٢٠ ٠,٠٢٤

العمق بالقدم	السمك بالقدم	التوصيل الهيدروليكى جالون/يوم/قدم٢	الانتقال جالون/يوم/قدم	فتحة المصفاة بالبوصة
٣٨٣-٣٦٣	٢٠	٢٠٠٠	٤٠٠٠٠	٠,٠٥٦ ٠,٠٥٠ ٠,٠٤٥
٣٩٥-٣٨٣	١٢	١٠٠٠	١٢٠٠٠	٠,٠٣٤ ٠,٠٣٠ ٠,٠٢٦
٤١٥-٣٩٥	٢٠	١٥٠٠	٣٠٠٠٠	٠,٠٧٠ ٠,٠٦٠ ٠,٠٥٢

الإنتقال للخزان الجوفى ٨٨٥٠٠

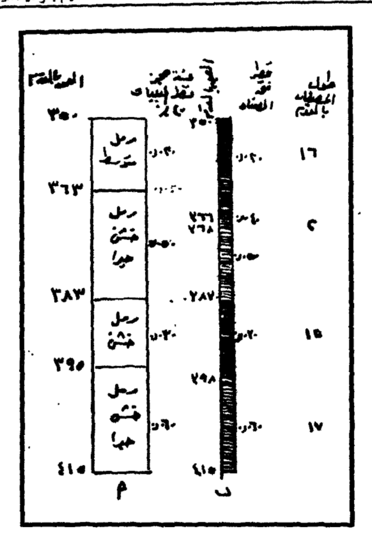
الانتقال للطبقة = التوصيل الهيدروليكى للطبقة X سمك الطبقة

الانتقال للخزان الجوفى = حاصل جمع الانتقال لكل طبقة فى الخزان الجوفى

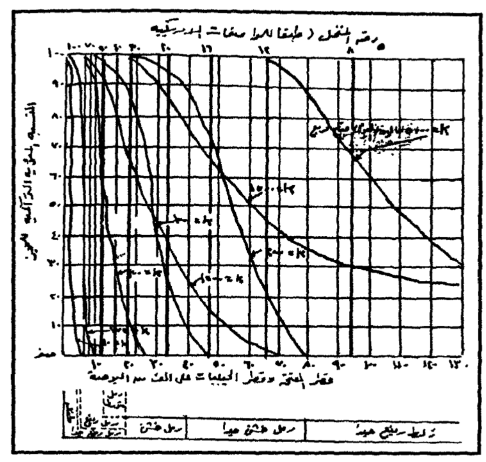


قطر الحبيبات على ألف من البوصة

شكل (٧-٩) منحنيات التوزيع لقطر الحبيبات التى تمثل الطبقات المختلفة فى خزان جوفى رملى غير متجانس



شكل (٩-٩) (أ) مقطع سيتم تركيب المصفاة به ذات فتحات بقطر طبقاً لكل طبقة (ب) مخطط للمصفاة يوضح قطر الفتحات المحرر طبقاً للقاعدة ١،٢



شكل (٨-٩) يمكن تقدير التوصيل الهيدروليكى على أساس منحنيات التوزيع لقطر الحبيبات

قطر مصفاة البئر Well Screen Diameter

يـــتم اختيار قطر المصفاة لتحقيق المبدأ الأساسى : وهو المساحة المفتوحة التى يلـــزم توفيرها بما تحقق سرعة لدخول اللمياه لا تزيد عن التصميم القياسى ٠,١ قدم/ الثانـــية (٣ســم فى الثانية) . يمكن تحديد قطر المصفاة خلال حدود ضيقة وذلك بعد تحديـــد طول المصفاة وقطر فتحات المصفاة . حيث طول المصفاة يتوقف على سمك الخزان الجوفى أما قطر فتحات المصفاة فيعتمد على التدرج فى حجم الحبيبات للتربة المحيطة أو حجم حبيبات التحشية الزلطية (Filter Back) .

تتأثر إنتاجية البئر بقطر المصفاة وذلك رغم أن تأثير قطر المصفاة على إنتاجية البئر أقل من التأثير الناتج عن زيادة طول المصفاة .

الجدول (٤) يوضح أنه إذا كان إنتاج البئر ٦ بوصة هو ١٠٠ جالون فى الدقيقة مع انخفاض معين ، فإن بئر ١٢ بوصة منشأ فى نفس المكان سينتج ١١٠ جالون فى الدقيقة مع نفس الانخفاض ، بئر ٤٨ بوصة سينتج ١٣٧ جالون فى الدقيقة أو ٣٧% زيادة من المياه مع نفس الانخفاض . ولهذا مضاعفة القطر لمصفاة البئر يمكن أن يزيد حوالى ١٠% فقط وذلك عند ثبات باقى العوامل ، ولكن عند مضاعفة القطر فى حالة الخزان الجوفى المحصور فإن الزيادة تكون أقل حوالى ٧% .

هذه النسب تنطبق كذلك على الطاقة النوعية (Specific Capacity) . فمثلاً فى حالة بئر ١٢ بوصة ينتج ١٢ جالون فى الدقيقة لكل قدم انخفاض ، عندئذ فإن بئر بقطر ٢٤ بوصة فى نفس المكان سينتج ١١١% زيادة أو ٢٢,٢ جالون فى الدقيقة لكل قدم انخفاض .

شكل (٤) قطر البئر مقابل النسبة المئوية للإنتاج بالجالون :

٦ بوصة (١٥٢مم)	١٢بوصة (٣٠٥مم)	١٨ بوصة (٦١٠مم)	٢٤ بوصة (٦١٠مم)	٣٠ بوصة (٧٦٢مم)	٣٦ بوصة (٩١٤مم)	٤٨ بوصة (١٢١٩مم)
١٠٠	١١٠	١١٧	١٢٢	١٢٧	١٣١	١٣٧
-	١٠٠	١٠٦	١١١	١١٦	١١٩	١٢٥
-	-	١٠٠	١٠٨	١٠٨	١١٢	١١٧
-	-	-	١٠٤	١٠٤	١٠٧	١١٢
-	-	-	١٠٠	١٠٠	١٠٣	١٠٨
-	-	-	-	-	١٠٠	١٠٥

ملحوظة : الأرقام فى الجدول على أساس R = ٤٠٠ قدم (١٢٢ متر) الحالة النموذجية للقطر المؤثر لبئر غير محصور . هذه المقارنات توضح أن زيادة قطر المصفاة قد لا يزيد الطاقة النوعية أو إنتاجية البئر بدرجة ملحوظة . ولكن

فى بعض الحالات قد تحقق زيادة القطر زيادة فى التصرف من ١٥ – ٢٥ %.

جدول (٥) المساحات المفتوحة للمصافى :

قطر المصفاة	قطر الفتحة على ١٠٠٠"	فتحة مستمرة ٠%	(أقصى مساحة مفتوحة) ٠%	فتحة مقنطرة ٠%	فتحات مصنعة عمودية ٠%	فتحات بلاستيك مستمرة ٠%	بلاستيك مثقوب ٠%
"٤	٢٠	٤٤ ٢٥	– –	– –	– –	٢٢ ١٣	– –
(داخلى)	٦٠	٩٠ ٥٢	– –	١٢ ١٢	٨ ٥	٥٢ ٣٠	١٨
"٨	٣٠	٨٠ ٢٥	– –	– –	– –	٥٧ ١٨	١١
(داخلى)	٦٠	١٣٥ ٤١	١٠ ٣	١٧ ٦	١٥ ٥	٩٣ ٢٩	٢٦ ٨
م	٩٥	١٦٥ ٥١	١٥ ٥	– –	٢٣ ٧	– –	٤٧
"١٢	٣٠	٧٧ ١٦	– –	١٢ ١٣	– –	– –	١٤
(داخلى)	٦٠	١٣٥ ٢٨	٢٠ ٤	٣٣ ٧	٢١ ٥	– –	– –
م	٩٥	١٨٢ ٣٨	٣٠ ٧	– –	٣٢ ٧	– –	– –
م	١٢٥	٢١٤ ٤٥	٣٩ ٩	٦٨ ١٤	٤٣ ٩	– –	٥٢
"١٦	٣٠	٩٧ ١٦	– –	١٦ ٣	– –	– –	١١
(خارجى)	٦٠	١٦٩ ٢٨	٢٤ ٤	٣٥ ٦	٢٧ ٥	– –	– –
	٩٥	٢٢٨ ٣٨	٣٥ ٦	– –	٤١ ٧	– –	– –
	١٢٥	٢٦٨ ٤٥	٤٧ ٨	٧٨ ١٣	٥٥ ٩	– –	٥٢ ٩
							– –
							– –
							– –

• بوصة مربعة / القدم

جدول (٦) أقصى سرعات يوصى بها لدخول المياه إلى المصفاة

التوصيل الهيدروليكى		أقصى سرعة لدخول المصفاة	
جالون/يوم/قدم٢	متر مربع فى اليوم	قدم فى الثانية	سم فى الثانية
أكثر من ٦٠٠٠	أكثر من ٢٤٥	أكثر من ٠,١	أكثر من ٣,٠٥
٦٠٠٠	٢٤٥	٠,١	٣,٠٥
٥٠٠٠	٢٤٠	٠,١	٣,٠٥
٤٠٠٠	١٦٣	٠,١	٣,٠٥
٣٠٠٠	١٢٢	٠,١	٣,٠٥
٢٥٠٠	١٠٢	٠,٠٨	٢,٥٤
٢٠٠٠	٨٢	٠,٠٨	٢,٥٤
١٥٠٠	٦١	٠,٠٧	٢,٠٣
١٠٠٠	٤١	٠,٠٧	٢,٠٣
٥٠٠	٢٠	٠,٠٥	١,٥٢
أقل من ٥٠٠	أقل من ٢٠	أقل من ٠,٠٥	أقل من ١,٥٢

المساحة المفتوحة :

يتوفر لدى صناع المصافى جداول توضح المساحة المفتوحة لكل قدم من المصطفاة وذلك لكل قطر للمصفاة ومختلف قطر الفتحات للمصفاة . الجدول (٥) يوضح أن ثقب المصافى المستمر له مساحات مفتوحة أكبر من الفتحات المقنطرة (Bridge Slot) ، أو المصافى المحمية بغطاء Louvered أو تخريم فبريكة Mill Slotted . المساحة المفتوحة المحدودة تعيق تنمية البئر ، بما يسبب زيادة الانخفاض وزيادة تكاليف الضخ لإنتاج معين . استخدام المصافى ذات فتحات مستمرة يؤكد أقصى طاقة نوعية .

سرعة الدخول :

لقد ثبت من الاختبارات المعملية والتجارب أن متوسط سرعة دخول المياه المصفاة يجب ألا تزيد عن ٠,١ قدم فى الثانية (٠,٠٣ متر فى الثانية) . عند هذه السرعة الفقد بالاحتكاك فى فتحات المصفاة يكون مهمل تقريباً ومعدلات تكون

ترسيبات و التآكل يكون أدنى ما يمكن جدول (٦) .

متوســط سرعة الدخول يتم حسابها بقسمة إنتاج (تصرف) البئر على إجمالى مســاحة فتحات المصفاة . فى حالة زيادة السرعة عن ٠,٠٣ متر فى الثانية فإن طول المصفاة و أو القطر سيزداد لتوفير المساحة الكافية المفتوحة لتكون ٣ سم فى الثانية أو أقل . زيادة طول المصفاة فى الخزان الجوفى الغير محصور قد تقلل الانخفاض ، وبذا تــنخفض الإنتاجية . وعلى الجانب الآخر فى حالة اختراق المصفاة لكل سمك الخزان الجوفــى المحصور سيعمل ذلك على زيادة الإنتاج (طالما لا يتم سحب المياه – Not De Watered) . أحــياناً يكــون مــن الممكن تغيير خصائص تصنيع المصفاة لزيادة المســاحة المفــتوحة . فمــثلاً فى حالة المصفاة ذات الفتحات المستمرة يمكن خفض عرض السلك طالما تحققت خصائص القوة للسلك .

مثال : مصفاة من الصلب المقاوم ذات الفتحات المستمرة (Continous Slot) وبطــول ٢٠ قــدم وقطــر ١٤ بوصة . العرض الخارجي للسلك الخارجى الملفوف المســتخدم فى صناعة المصفاة هو ٠,١٥٦ بوصة وقطر الفتحة الموصى به ٠,٠٥٦ بوصة التصرف المستهدف هو ٢٠٠٠ جالون فى الدقيقة .

١ – لحساب المساحة السطحية لكل قدم طولى للمصفاة :

المســاحة = ٢ ط نــق x (١٢ بوصة "١ قدم ") = ٢ x ٣,١٤ x ٧ x ١٢ = ٥٢٨ بوصة مربعة لكل قدم طولى للمصفاة .. حيث نق هو نصف قطر المصفاة .

٢ – المساحة الكلية للمصفاة بطول ٢٠ قدم = ٢٠ x ٥٢٨ = ١٠٥٦٠ بوصة مربعة .

٣ – لحساب نسبة المساحة المفتوحة للمصفاة ، طبقاً لعرض السلك المستخدم لصناعة المصفاة وقطر الفتحة المطلوب .

النسبة المئوية للمساحة المفتوحة = $\frac{\text{قطر الفتحة}}{\text{قطر الفتحة + عرض السلك}}$ = $\frac{٠,٠٦٥}{٠,٠٦٥ + ٠,١٥٦}$

= ٢٩,٤ % .

وبذا يكون ٢٩,٤% من السطح الخارجى للمصفاة مفتوح للخزان الجوفى .

٤ – لحساب كمية المساحة المفتوحة .

المساحة المفتوحة = مساحة السطح x النسبة المئوية للمساحة المفتوحة

= ١٠٥٦٠ x ٠,٢٩٤ = ٣١٠٥ بوصة مربعة % ١٤٤

حيث قدم مربع = ١٤٤ بوصة مربع إذا = ٢١,٦ قدم مربع

المساحة المفتوحة لكل قدم طولى من المصفاة = ٢١,٦ % ٢٠ = ١,٠٨ قدم مربع

٥ – لحساب سرعة دخول المياه إلى فتحات المصفاة

VA = Q

حيث Q = الإنتاج (التصرف) قدم مكعب فى الثانية

V = سرعة دخول المياه بالقدم

A = المساحة المفتوحة فى المصفاة بالقدم المربع

$$V = \frac{Q}{A}$$

لتحويل التصرف من جالون فى الدقيقة إلى قدم مكعب فى الثانية

٢٠٠٠ جالون / الدقيقة على٧,٥ جالون فى كل قدم مكعب على٦٠ ثانية فى كل دقيقة

= ٤,٤٤ قدم مكعب فى الثانية .

لذلك فإن سرعة دخول المياه إلى المصفاة تكون V = $\frac{٤,٤٤}{٢١,٦}$ = ٠,٢١

قدم فى الثانية .

٦ – نظـــراً لأن السرعة ٠,٢١ قدم فى الثانية أكبر من السرعة الموصى بها ٠,١ قدم فــى الثانية . لذلك فإنه يلزم إما زيادة طول المصفاة أو زيادة قطرها . فى حالتنا هذه يتوفر انخفاض لزيادة طول المصفاة بدون التأثير على الإنتاج (التصرف).

لحســاب الطول الجديد للمصفاة ، تعين المساحة المفتوحة المطلوبة عند سرعة دخول المياه ٠,١ قدم فى الثانية . لذلك :

$V_2 A_2 = V_1 A_1 \quad \therefore \quad A_2 = \frac{V_1 A_1}{V_2}$ = $\frac{٠,٢١X٢١,٦}{٠,١}$ = ٤٥,٤ قدم مربع

∴ المساحة المفتوحة المطلوبة = ٤٥,٤ قدم مربع .

من الخطوة رقم (٤) المساحة المفتوحة لكل قدم طولى من المصفاة = ١,٠٨ قدم مربع .

لذلك أدنى طول مطلوب للمصفاة = $\frac{٤٥,٤}{١,٠٨}$ = ٤٢ قدم .

٧ – البديل لزيادة المصفاة هو بزيادة القطر مع ثبات طول المصفاة (٢٠ قدم) .

(فـى حالــة المصفاة قطر ٣٦ بوصة ، عرض السلك ليكون ٠,٢١٥ للمحافظة على القوة المناسبة عندئذ تكون نسبة المساحة المفتوحة ٢٣,٢ %) .

عند استخدام مصفاة بطول ٢٠ قدم وقطر ٣٦بوصة فإن سرعة دخول المياه تكون:

المساحة = $\frac{١٢ \times ٢٠ \times ٣٦ \times ٩,١٤}{١,٠٨}$ = ١٨٨ قدم مربع

المساحة المفتوحة = ١٨٨ x ٠,٢٣٢ = ٤٣,٦ قدم مربع

∴ السرعة = $\frac{Q}{A}$ = $\frac{٤,٤٤}{٤٣,٦}$ = ٠,١ قدم فى الثانية .

ولكن هذا التصميم قد لا يكون مناسباً لمصفاة بطول ٢٠ قدم وقطر ٣٦ بوصة وذلــك لأن القيســون ســيكون كبيراً أكثر من المطلوب وهذا سيزيد من تكاليف قطر الحفر.

والبديل هو اختيار مصفاة ذات نسبة فتحات أكبر من ٢٣,٢ % .

الحالــة الســابقة تفترض أن الطلمبة موضوعة مباشرة فوق المصفاة (وهى الحالة العادية) وهذا يجعل الفقد فى الضغط للمياه الصاعدة خلال المصفاة صغير جداً . ولكن فى حالة وجود ماسورة صاعدة (Riser Pipe) بين المصفاة والطلمبة سيحدث فقد فى الضغط إذا زادت ســرعــة المياه فى المصفاة والماسورة الصاعدة عن ٥ قدم فى الثانية (١,٥ متر فى الثانية) .

إمكانيات النقل للمصفاة : (Screen Transmitting Capacity)

معظم صناع المصافى يوفروا الجداول التى توضح المساحة المفتوحة لكل قدم مــن المصفاة وذلك لكل قطر للمصفاة وبالنسبة لعرض الفتحات المختلفة كذلك . طاقة

الـــنقل لمصفاة البئر التى يعبر عنها بالجالون فى الدقيقة لكل قدم طولى من المصفاة ، يـــتم حســـابها بسرعة من الأشكال للمساحة المفتوحة عند سرعة الدخول الموصى بها ٠,١ قدم فى الثانية .

عند ضرب عدد البوصات المربعة للمساحة المفتوحة كما فى الجدول (Q) فى معامل ٠,٣١ يعطى إمكانيات النقل للمصفاة عند سرعة ٠,١ قدم فى الثانية . وحدات معـــامل الـــتحويل ٠,٣١ نتـــيجة توصيف سرعة الدخول (V) ٠,١ قدم فى الثانية فى المعادلة Q = AV .

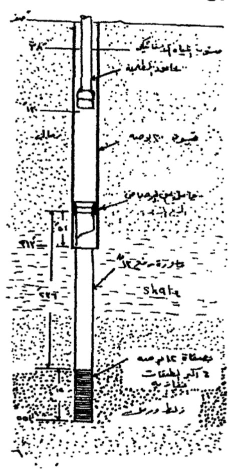
فمـــثلاً : المســـاحة المفتوحة لمصفاة جونسون ذات الفتحة المستمرة قطرها ٨ بوصة وذات ثقـــب بقطر ٠,٠٦٠ بوصة هو ١٣٥ بوصة مربعة / القدم الطولى من المصفاة .

إمكانية النقل يتم حسابها بضرب ٠,٣١ فى المساحة المفتوحة للمصفاه (٠,٣١ ×١٣٥) = ٤٢ جـــالون فى الدقيقة \القدم) . عشرة أقدام من هذه المصفاه سوف تنقل ٤٢٠ جالون فى الدقيقة بسرعة دخول ٠,١ قدم فى الثانية . يجب معرفة أن طاقة النقل لمصفاه البئر هى خاصية هيدروليكيه للمصفاه نفسها عند سرعة دخول معينة وليست قياس لقدرة إنتاج التكوينات من التربة الحاملة للمياه التى تم تركيب المصفاه فيها .

عـــادة يســـتخدم فى الآبار مصافى ذات فتحات مستمرة ذات قطر أصغر من قطر القيسون كما فى الشكل (١٠-٩) الذى يبين مثال لاستخدام مصفاة البئر ذات قطر أقل من قطر القيسون بعدة بوصات وذات كفاءة مناسبة . التصرف المتوقع لأكثر من ١٨٠٠ جالون فى الدقيقة يتطلب استخدام قيسون بقطر خارجى ٢٠ بوصة (جدول ١) لتوفير الفراغ اللازم للطلمبه . مصفاة بقطر ١٢ بوصة ستوفر مساحة كافية بما يحقق عـــدم زيادة سرعة دخول المياه من ٠,١ قدم فى الثانية عند الضخ للبئر بمعدل ٣٠٠٠ جالون فى الدقيقة .

عـــندما يكون من الضرورى وضع الطلمبة خلال المصفاة أو وضعها خلال الماســـورة التى توصل مقطعين للمصفاة ، يتم إختيار قطر المصفاة من الجدول (٥) .

أى مقطـــع للمصـــفاة أسفل مكان وضع الطلمبة يمكن أن يكون بقطر أقل شريطة أن تتحقق سرعة دخول مياه إلى المصفاة .



شكل (١٠-٩) بئر مصمم بقطر مصفاة أصغر من قطر القيسون

إختيار مادة الصنع للمصافى : SelectionOf Materiaj

يتحكم فى إختيار مادة الصمغ للمصفاه ثلاث أشياء هى :

(١) الأملاح المذابة

(٢) وجود تجمعات بكتيرية

(٣) إحتياجات القوة للمصفاة

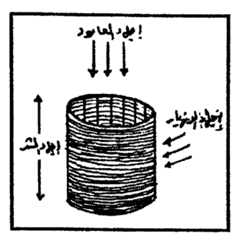
يمكـــن الـــتعرف على الأملاح المذابة فى المياه الجوفية بالتحاليل المعملية . وبدراســـة هـــذه التحاليل يمكن التعرف على عدوانية المياه (Corrosive) ، أو قابليتها

لإحداث ترسيبات (Tncrusting) . في بعض الحالات يمكن أن تسبب هذه الأملاح المذابة كلا من التآكل والترسيبات .

المياه العدوانية : تآكل المصفاة يمكن أن يسبب تلف للبئر أكثر مما يحدثه تآكل القيسون . إتساع فتحات المصفاة الذى يكون نتيجة إزالة بعض على ألف من البوصة من المعدن يمكن أن يسمح بدخول كميات زائدة من الرمال بدخول البئر . وعلى الجانب الآخر يمكن أن يزيل التآكل من $\frac{1}{8}$ إلى $\frac{1}{4}$ بوصة من جدار القيسون حيث يظل سمك جدار غير كافى لمنع التدمير والإنهيار (collapse) للبئر أو دخول مياه ملوثة أو غير مرغوب فيها . لذلك يكون من الضرورى استخدام مصفاة البئر مصنوعة من معدن مقاوم للتآكل .

الحالات التاليه توضح الظروف العدوانية للمياه :

- الرقم الهيدروجينى أقل من ٧ تكون المياه حامضية وتتوفر الظروف العدوانية
- الأكسجين المذاب أكثر من ٢ جزء فى المليون يجعل المياه عدوانية
- كبريتيد الهيدروجين أقل من ١ جزء فى المليون يجعل المياه عدوانية
- الاملاح الكلية المذابة أكثر من ١٠٠٠ جزء فى المليون تنشط التآكل الكهروكيميائى وتجعل المياه عدوانية . ولذلك يفضل أن تكون المصفاة من معدن واحد مقاوم للتآكل.
- كما يتوقع حدوث التآكل فى حالة زيادة ثانى اكسيد الكربون المذاب عن ٥٠ جزء فى المليون ، وكذلك فى حالة زيادة أملاح الكلوريدات عن ٥٠٠ جزء فى المليون .
- وجود أى عاملين من عوامل تنشيط التآكل يزيد من عدوانية المياه .



شـكل (١١-٩) كـل المصـافى لها إجهاد شد ، انهيار ، عامود طبقاً لمادة الصنع للمصـفاة (بلاسـتيك ، صلب ، ... الخ) وطبقاً لنظام التخريم (مستمر ، مقنطر ، تخريم فبريكة ... الخ) عناصر الإنشاء للمصفاة ذات التخريم المستمر يتم اختيارها لمقاومـة الإجهـادات الـثلاث . على المصفاة أثناء الإنشاء وأثناء التشغيل للبئر . إجهـاد العـامود وإجهاد الشد المطلوب أثناء إنشاء البئر يتوفر بالأسياخ الطويلة . شـكل وكثافة السلك الملفوف يوفر مقاومة الانهيار اللازم أثناء التنمية والاستخدام المستمر للبئر .

المياه التى تحدث ترسيبات tncrustingwater

بعض المياه التى تحدث ترسيبات على سطح المصفاة وفى مسام التربة خارج المصفاة والملاصقة لها . هذه الترسيبات تحدث إنسداد فى فتحات المصفاة وفى مسام التربة . هذه الترسيبات تزال عادة بوضع حامض قوى (مثل حامض الهيدروكلوريك) فـى البئر الذى يذيب هذه الترسيبات . ولذلك يلزم فى مثل هذا النوع من المياه وضع المصفاة من مادة مقاومة للتآكل لتتحمل تأثير المعالجة بالحامض .

توجـد فى بعض المياه الجوفية نوع من البكتريا الذى يسمى البكتريا المؤكسدة للحديد (IronOxidising Baitena) . رغـم أنهـا غير ضارة بالصحة إلا أنها تسبب انسداد فى مسـام الـتربة و فى فتحات المصفاة . هذه البكتريا تنتج تراكمات من مواد جيلاتينية وتؤكسـد الحديد والمنجنيز حيث يمكن حدوث إنسداد كامل للبئر فى وقت قصير. فقد ثبـت فى بعض الحالات إنخفاض إنتاجية البئر بنسبة ٧٥ % فى فترة من ثلاثة أشهر

حتى عام.

المعالجـــة المؤثـــرة فـــى هذه الحالة هو باستخدام محلول كلور قوى نسبيا الذى يقتل البكـــتريا . يلى ذلك إستخدام محلول حامض الهيدروكلوريك لإذابة الحديد والمنجنيز المترسب ثم إزالة هذه الترسيبات من المنطقة المحيطة بمصفاة البئر بالضخ . ونظراً لاستخدام الأحماض العدوانيه فإنه يلزم تركيب مصفاة من مادة مقاومة للتآكل .

قوة المصفاة (screenstrength)

يبـــنى إختـــيار معدن المصفاة أحيانا على أساس قوة التحمل . الأحمال التى تـــتعرض لهـــا المصفاة غالبا هما أحمال العامود (Column Load) وهو ضغط رأسى وضغط الإنهيار (Collapse pressure) وهو ضغط أفقى وضغط الشد شكل (١١-٩) . عـــند الإنشـــاء يكون قطر الحفر مفتوح حيث المصفاة مثبتة فى القيسون مباشرة بما يجعلها تتحمل الوزن الكلى للقيسون وهذا الحمل هو حمل العامود على المصفاة . حمل الشـــد (tensile load) يحـــدث علـــى المصـــفاة عند إنشاء مقاطع طويلة من المصافى والقيســـونات . فـــإن المصفاة يجب أن يتوفر لها إجهاد الشد الكافى لتتحمل مؤقتا أى مصـــافى أو قيســـونات معلقة أسفلها . وبعد إلتصاق مادة الحفر بالمصفاة فإن ضغط التربة يسبب إجهادات أفقية على المصفاة وخاصة أثناء التنمية (Derelopment) . يجب أن يـــتوفر لدى المصفاة مقاومة الإنهيار لتحمل ضغط التربة والضغط الهيدروليكى . معظم حالات انهيار المصفاة تحدث أثناء الإنشاء ، أثناء وضع التحشيه الزلطية وأثناء التنمية .

مقاومـــة المصـــفاة لكل من حمل العامود وضغط الإنهيار يتناسب مع معامل اللدونـــة (modulus of Elasticity) لمادة صنع المصفاة . ولذلك فإن المصفاة المصنوعة مـــن الصـــلب المقاوم حيث معامل اللدونة ٣٠x١٠٦ رطل على البوصة المربعة لها ضعف قوة المصفاة المصنوعة من سبيكة النحاس (Everdur) حيث معامل اللدونة ١٥x ١٠٦ رطل على البوصة المربعة وذلك عند استخدام مصافى بنفس الأبعاد والظروف . ولـــيس مـــن الضرورى المبالغة فى قوة تحمل المصفاة نظرا لأن ذلك يقلل المساحة

المفتوحة لها . الغرض من المصفاة هو السماح بدخول المياه مع أقل فقد بالإحتكاك . يجب أن يتوفر لدى المصفاة قوة التحمل لمقاومة القوى المعرضة لها وفى نفس الوقت أقصى مساحة مفتوحة تتناسب مع متطلبات التحمل .

تصـــنع المصافى من معادن وسبائك مختلفه .الجدول (٧) يوفر دليل لاختيار المعدن والأسعار النسبية ومقاومة التآكل .

جدول (٧) معادن مصافى الآبار ومقترحات الاستخدام

المعدن أو السبيكة	المكونات	معامل السعر	مقترح الاستخدام
مونيل (Monel)	٧٠ % نيكل	١,٨	تركـــيزات عالية من مركبات
م	٣٠ % نحاس	م	الصوديوم والأكسجين المذاب
صلب مقاوم	٧٤ %حديد (صلب)	١	كما فى حالة مياه البحر
م	١٨% كروم	م	كبريتيد الهيد
م	٨ % نيكل	م	
إفيردور	٩٦% نحاس	١	
(Everdur)	٣ % سيليكون	م	
م	١ % منجنيز	م	
صلب مجلفن	٩٩% حديد	٠,٥	
	٠,٧ % كربون		
	٠,٣ % منجنيز		

المصـــافى من مادة البلاستيك تكون عادة من مادة البى فى سى (PVC) رقم جدول ٤٠ ، ٨٠ أو ذات نسبة أبعاد قياسية ٢١ (SDR) (Standard Dimention Ratio) وهـــو النســـبة بيـــن متوسط السمك الخارجى للماسورة مقسوماً على أدنى سمك لبدن الماسـورة (وضــغط الاختــبار لا يقل عن ١٤ كج / سم٢ ، ٢٠٠ رطل / البوصة المربعة للماسورة بدون فتحات للمصفاة) .

تصميم التحشية الزلطية [الظهير الزلطى]: Gravel Pack Design

يخــتلف البــئر المزود بالتحشية الزلطية عن التنمية الطبيعية فى أن المنطقة المحيطة بالمصفاة مباشرة تصبح أكثر نفاذية نتيجة إزالة مادة التربة واستبدالها بمواد زلطية متدرجة . فى التنمية الطبيعية للبئر يتم إزلة المواد الرفيعة فى التربة المحيطة بالمصــفاة وإيجــاد منطقة أكثر نفاذية . فى كلا الحالتين فإن النتيجة هى زيادة القطر المؤثر للبئر من الناحية الهيدروليكية .

فــى التنمــية الطبيعية للبئر ، تم توضيح أنه يتم اختيار قطر فتحات المصفاة لتحتجز ٤٠% من التربة الطبيعية وتسمح بمرور ٦٠% أثناء عملية التنمية . فى حالة البــئر بالتحشية الزلطية يتم اختيار تدرج الزلط الذى يحجز كل مكونات مادة التربة ، عــندئذ يــتم اختيار فتحات المصفاة التى تحتجز الزلط . فى كثير من الحالات يفضل استخدام التحشية الزلطية فى تصميم البئر حيث تناقش فى الحالات الآتية :

- الــرمل الرفــيع المنتظم (Fine Unifor Sand) : فى هذا النوع من التربة يتم عمل التحشــية الزلطــية حيث تستخدم فتحات للمصفاة كبيرة ، وبالتالى تكون المساحة المفتوحة فى المصفاة كبيرة . نسبة المساحة المفتوحة من خصائص المصافى ذات الفتحات الصغيرة . فى حالة اختيار الفتحات على أساس بئر تنمية طبيعية أقل من ٠,٠١ بوصة (فتحة رقم ١٠) ، فى هذه الحالة يجب عمل التحشية الزلطية .
- خــزان جوفى إرتوازى سميك : فى هذا النوع من الخزانات الجوفية حيث تستخدم مصــفاة طويلة وحيث توضع الطلمبة فوق مصفاة البئر ، يمكن وضع مصفاة ذات قطــر صغير فى منتصف فتحة البئر مع ملئ الفراغ المحيط بالزلط . وهذا يفضل عن استخدام مصفاة قصيرة وذات قطر يساوى قطر الحفر للبئر .
- حجر رملى ملتصق إلى حد ما : Loosely Cemented Sand Stone

توجــد كثيراً من الخزانات الجوفية من الحجر الرملى ضعيفة التماسك . فى حالة تنفــيذ بــئر بقطر الحفر فقط فإن حبيبات الرمل تتسرب من الحوائط بما ينتج عنه ضخ الرمال .

والســـبب الـــثانى لعمل التحشية الزلطية فى حالة الخزان الجوفى من الحجر الـــرملى ضـــعيف التماسك هو أن مادة التربة عادة لا توفر السند الجانبى للمصفاة . فالـــتربة لا تتشكل بسرعة حول المصفاة أثناء التنمية مثل ما يحدث فى التربة الرملية المتجانســـة . قـــد توجـــد كتل غير متماسكة بين المصفاة وحائط الحفر ، وهذا يوجد احتمال سقوط قطع من الحجر الجيرى على المصفاة وإتلافها فى أى وقت . فى حالة وضـــع مـــواد زلطية محببة بين المصفاة والحائط فإنه يؤمن المصفاة ضد عدم انتظام قطر الحفرة بالإضافة إلى أنه ساند للحائط ويوفر سند جانبى للمصفاة الشكل(١٢– ٩) يوضح تفصيلات بئر مجهز بالتحشية الزلطية (الظهير الزلطى) .

التربة ذات الطبقات الغير متجانسة :

(Extensively Laminated Formations)

بعـــض الخـــزانات الجوفـــية تتكون من طبقات من مواد ناعمة ومواد خشنة بالتـــبادل . يكون فى هذه الحالة من الصعب التحديد بدقة لموقع وسمك كل طبقة على حـــدة واختيار الطول المناسب لكل مقطع من المصفاة للمصفاة متعددة أقطار الثقوب المقابل لعدم التجانس . فى هذه الحالة يكون من المفضل تجنب الأخطاء وذلك بتصميم البئر بالتحشية الزلطية حول الجدار الخارجى للمصفاة (الظهير الزلطى) .

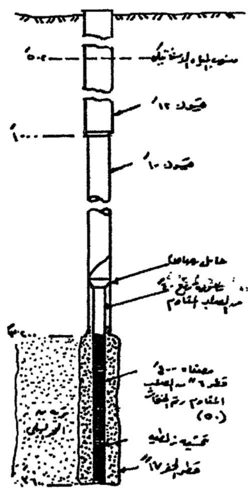
تدرج التحشية الزلطية يبنى على أساس الطبقة ذات المواد الرفيعة فى الجزء من التربة الحامل للمياه . فى اختيار التحشية الزلطية على هذا الأساس فإنه لا تحدث إعاقة للتدفق من الطبقات ذات المواد الخشنة نظراً لأن نفاذية التحشية الزلطية ستكون عدة أضعاف نفاذية التربة الخشنة .

مراحل تصميم الظهير الزلطى للمصفاة : Gravel Pack Fraduation

الآتى بعض المراحل النموذجية لتصميم الظهير الزلطى :

١ – توقـــيع منحنـــيات تحلـــيل المنخل (Seive Analysis) لكل طبقات التربة المكونة للخزان الجوفى . يتم تحديد الطبقة من التربة التى تتكون من الرمال الرفيعة جداً

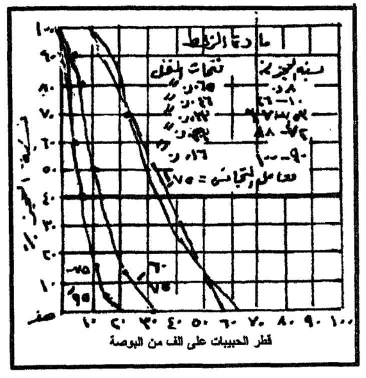
ثم يتم تــدرج لعينتين من المـــواد الحاملة للمياه التى تكون ٣٠ قدم سمك الخزان الجوفـــى (٩,١ متر) . المادة الرفيعة جداً تقع ما بين ٧٥ إلى ٩٠ قدم . تصميم الظهـــير الـــزلطى فـــى هذا المثال سيتم بناؤه على أساس هذه الطبقة فى بعض الحـــالات يكـــون مـــن المفضل إهمال الجزء الغير مستحب للخزان الجوفى مع استخدام ماسورة عمياء بين مقاطع المصفاة الموضوعين فى أفضل أجزاء الخزان الجوفى نفاذية .



شكل (١٢-٩) تصميم التحشية الزلطية مفضل فى الآبار فى الخزانات الجوفية من الحجر الرملى

٢ – بضـــرب ٧٠ % قطر الحبيبات المحتجز للرمال بمعامل بين ٤ و ١٠ . يستخدم المعـــامل مـــن ٤ إلـــى ٦ للضرب فى حالة تجانس الخزان الجوفى ونسبة قطر

الحبيــبات المحتجز بنسبة ٤٠ % يكون ٠,٠١ بوصة (٢,٥ مليمتر) أو أقل . يســتخدم المعامل ٦ إلى ١٠ للضرب للخزانات الشبة متجانسة أو الغير متجانسة عــندما يكون مواد التربة غير متجانسة التدرج وتحتوى على طفلة كما فى حالة المــناطق الجافة وشبه الجافة. يستخدم المعامل ١٠ للضرب فى حالة البئر الذى يضــخ الرمال . ضع نتائج حاصل الضرب على المخطط كنسبة ٧٠ % محتجز مــن الــزلط . فى الشكل (١٣-٩) ٠,٠٠٥ بوصة (٠,١٣ مليمتر) هو ٧٠ % قطــر الــرمال بين ٧٥ و ٩٠ قدم . بالضرب فى المعامل ٥ فإن قطر الحبيبات الزلطــية يكــون ٠,٠٠٥ x ٥ = ٠,٠٢٥ بوصـــة (٠,١٣ x ٥ مليمتر = ٠,٦٥ مليمتر) . هذه أول نقطة على المنحنى التى تمثل التدرج لمادة الظهير الزلطى (مادة الترشيح) .



شكل (١٣-٩) منحنيات قطر الحبيبات لرمل الخزان الجوفى والمنحنى المقابل للاختيار المناسب لمادة الظهير الزلطى

٣ – خــلال النقطة الأولى على منحنى الظهير الزلطى ، يتم رسم منحنى رقيق يمثل المادة بمعامل تجانس ٢,٥ أو أقل (انظر ٥ معنى معامل التجانس) . يجب عمل ذلــك فى عدة محاولات . فى الشكل (١٣-٩) المنحنى المرسوم كخط مستمر له معامل جانس (Uniformity Coefficient) حوالى ١,٨ . يمكن رسمه بطريقة مختلفة كما فى الخط المتقطع حيث معامل التجانس له هو ٢,٥ . يكون من المفضل رسم منحنى الظهير الزلطى ليكون متجانس ما أمكن (معامل تجانس منخفض) . لهذا فإن المادة الموضحة بالمنحنى المستمر أفضل من الموضحة بالمنحنى المتقطع .

٤ – يــتم اختــيار مواصفات الظهير الزلطى من المصادر التجارية التى تتوافق مع الأبعــاد والخصــائص الكيمياوية الموضحة فى الجدول (٢١) . وفى حالة عدم توفــير هذه المواصفات من المصادر التجارية مع توفر مصدر محلى من الزلط والــرمل ، يمكن كبديل اختيار قطر فتحات المصفاة التى تحجز ٩٠ % أو أكثر من المادة الزلطية . فى هذا المثال يكون القطر الصحيح .

جدول (٨) خصائص الظهير الزلطى وميزاته :

الخصائص	المزايا
النظافة م	الفقد القليل من المادة أثناء التنمية مع زمن تنمية أقل .
مبيعات تامة الاستدارة م م م	توصيل هيدروليكى عالى ونفاذية عالية الإنخفاض قليل الإنتاج عالى التنمية مؤثرة أكثر
حبيبات كوارتز ٩٠ – ٩٥ %	لا يوجد فقد فى الحجم بسبب إزبة أملاح
معامل التجانس ٢,٥ أو أقل	خفض الفصل أثناء الإنشاء فقد فى الضغط منخفض خلال الظهير الزلطى

٥– معامل التجانس يعبر عن التدرج فى قطر المادة الزلطية وهو النسبة ما بين فتحة المــنخل التى يحتجز عندها ٤٠ % من وزن العينة إلى فتحة المنخل التى يحتجز عــند ١٠ % مــن وزن العينة (الأخير يسمى القطر المؤثر) . فإذا كانت فتحة

المنخل لحجز ٤٠% من وزن العينة ٠,٠٤٦ بوصة ، قطر الفتحة لحجز ١٠ %، ٠,٠٢٣ يكون معامل التجانس = $\frac{٠,٤٦}{٠,٠٢٣}$ = ٢ هو ٠,٠٢ بوصة .

فى حالة اتباع مصمم البئر الخطوات السابقة بحرص يمكن تجنب ضخ الرمال من البئر نظراً لأن التصميم مبنى على النسبة ما بين قطر الحبيبات للتربة وقطر الحبيبات للظهير الزلطى . المادة الزلطية ذات النسبة الملائمة لقطر الحبيبات توفر حجز ميكانيكى لرمال التربة ومنع الرمال من التحرك إلى الظهير الزلطى وإلى البئر.

سمك طبقة الظهير الزلطى :

نظراً لأن نظرية تصميم التدرج للظهير الزلطى مبنية على الحجز الميكانيكى لحبيبات التربة . فإن المطلوب حقيقة لحجز والتحكم فى رمل التربة هو سمك محدود ضعف أوثلاثة أضعاف قطر الحبيبات . ثبت من التجارب المعملية أظهرت أن سمك الظهير الزلطى بجزء من البوصة يحجز بنجاح حبيبات التربة بصرف النظر عن سرعة المياه التى تعمل على حمل الحبيبات خلال الظهير الزلطى . لتأكيد إحاطة المصفاة بطبقة من الظهير الزلطى لذلك لا يقل السمك عن ٣ بوصة الذى يعمل به فى الموقع .

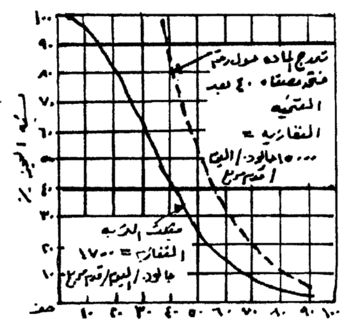
وفى معظم الحالات لا يزيد السمك للظهير الزلطى عن ٨ بوصة . زيادة السمك لا يعمل على زيادة الإنتاج للبئر . ولا يعمل السمك لخفض احتمالات ضخ الرمال نظراً لأن العامل المتحكم هو نسبة قطر حبيبات الظهير الزلطى إلى مادة التربة.

زيادة السمك للظهير الزلطى يمكن أن يزيد من صعوبة التنمية النهائية (Final Development) .

فى الواقع فإن سمك طبقة الظهير الزلطى يرتبط بقطر الحفر للبئر وقطر المصفاة . ويرتبط قطر الحفر طبقاً لقطر القيسون كالآتى (جدول ٩) .

جدول (٩) قطر الحفر المقابل لقطر القيسون

قطر القيسون	قطر الحفر
"٦	"٨
"٨	"١٢
"٩	"١٣
"١٢	"١٧
"٢٠	"٢٦



شكل (١٤-٩) منحنى قطر الحبلبات لمثلث التربة والمنحنى المقابل للجزء الخشن من هذه المادة التى تظل فى مكانها حول مصفاة البئر بعد تنمية البئر

ومـــن الجـــدول (٩) حيـــث قطر القيسون "١٢ فإن قطر الحفر هو "١٧

ونظراً لأن قطر المصفاة "٦٠ سيكون سمك الظهير الزلطى (١٧ – ٦) ÷ ٢ = ٥,٧٥ بوصة .

تثبيت التربة : Formation Stabilizer

فـــى حالـــة حفـــر البـــئر بطـــريقة البريمة الهيدروليكية (Hydraulic Rotary) وللمساعدة فى إستكمال التنفيذ للبئر بالتنمية الطبيعية ، يتم ملأ الفراغ المحيط بالمصفاة

بالرمل الخشن النظيف أو بخليط من الرمل الخشن والزلط . وقد استخدم تعبير تثبيت التربة لوصف مادة الملئ لهذا الغرض . وهذا التعبير لوصف مادة تختلف عن المادة الأكـــثر تجانســـباً (more Uniform) المستخدمة كظهير زلطى حول المصفاة . تثبيت التربة قد يشتمل على مجال كبير من حجم الحبيبات .

أثـــناء الحفـــر فى التربة الحاملة للمياه بطريقة البريمة (Rotary Method) ، يكون من الضرورى عمل قطر التخريم أكبر من القطر الخارجى لقطر المصفاة وقطر القيســـون. وهـــذا يوفـــر فراغ كافى لتركيب المصفاة بسهولة . يستخدم لتثبيت التربة مخلوط من الرمل له تدرج مثل التربة الحاملة للمياه أو أكثر خشونة وهذا يعتبر أفضل مثبت .

نظـــراً لأن فـــتحات مصفاة البئر يتم اختيارها لتسمح بالتنمية الطبيعية لمواد التربة الحاملة للمياه حول المصفاة كما لو لم يستخدم مثبت للتربة . فإن الرمال الرفيعة (Fines) لمـــواد تثبيت التربة وكذلك الحبيبات الرفيعة من التربة يتم سحبهم معاً خلال المصفاة أثناء عملية التنمية .

وضع مثبت التربة Placing Formation Stabilizer

يجـــب أن تكون كمية مثبت التربة كافية لملئ الفراغ حول المصفاة وقيسون البئر لمستوى ٣٠ قدم أو أكثر فوق قمة المصفاة . سوف يحدث استقرار وتنظيم للتربة كبـــير نظـــراً لأن جزء من مثبت التربة سوف يمر خلال فتحات المصفاة أثناء عملية التنمية للبئر.

سحب الأجسام الرفيعة من مثبت التربة وفى نفس الوقت إزلة الأجسام الرفيعة مـــن الـــتربة الطبيعية يساعد إلى حد كبير فى تكسير طبقات الطفلة (Mud Cake) من جدار قطر التخريم فى منطقة مصفاة البئر .

عملـــية التنمية تعمل على تحريك جسيمات مثبت التربة ، وهذه الحركة للمادة تعمـــل علـــى إزلـــة الطفلة التى تكونت أثناء عملية الحفر مع حدوث استقرار . إزالة الجســـيمات الرفـــيعة مـــن كل من مثبت التربة والتربة الحاملة للمياه يزيد من نفاذية

الظهير من المواد الخشنة التى تم تنميتها حول المصفاة . طبقاً لاختبارات عينات مادة الخـــزان الجوفى استخدم فى تربة الخزان الجوفى مصفاة ذات فتحات رقم ٤٠ . من المنحـــنى اليسار فى الشكل (٤ -٩) يلاحظ أن الفتحة رقم ٤٠ ستسمح بمرور ٦٠ % من مثبت التربة خلال المصفاة أثناء عملية التنمية .

نفاذيـــة مثبت التربة الموضحة بهذا المنحنى هى ١٧٠٠ جالون / اليوم / قدم مـــربع . بعـــد إزلـــة الأجسام الأصغر من ٠,٠٤٠ بوصة تغير التدرج إلى الموضح بالمنحنى اليمين من الشكل (٤- ٩) . وهذا زاد النفاذية إلى ١٥٠٠٠ جالون / اليوم / قدم مربع – حوالى ٩ أضعاف القيمة الأصليـــــة . مثبت التربة الموضح فى الشكـــل (١٤- ٩) هـــو عبارة عن خرسانة أو مونة أسمنتية بالرمل الخشن . وهذا النوع من الـــرمل الخشـــن مناسب للاستخدام تحت ظروف كثيرة من حالات التربة . يكون من المناســـب مـــلأ المـــادة عندما تكون الرمال الحاملة للمياه تتطلب فتحات مصفاة للبئر صـــغيرة مـــثل رقم ٢٠ (٠,٠٢٠ بوصة) . وكذلك تكون كافية عندما تكون التربة الحاملة للمياه بالتدرج الذى يتطلب استخدام فتحة مصفاة رقم ٥٠ (٠,٠٥٠ بوصة) .

تصميم الآبار الصغيرة Design of Small Wells

كثير من الخصائص التصميمية التى تم مناقشتها عن الآبار ذات الطاقة الكبيرة والكفـــاءة العالية المستخدمة للأغراض المنزلية والصناعية والرى تنطبق على الآبار الصغيرة . اختيار فتحات المصفاة ومواد الصنع للمصفاة وسرعة دخول المياه ينطبق كذلـــك . نظـــراً لإنشاء آلاف الآبار سنوياً لخدمة مجتمعات سكانية صغيرة أو مساحة زراعـــية محـــدودة حيـــث احتياجات الماء الكلية حوالى من ١٠٠ إلى ١٥٠ لتر فى الدقيقة. طبقاً لهذه الاحتياجات فإن استخدام مصفاة طويلة فى الخزانات الجوفية السميكة يكون غير اقتصـادى.

فـــى حالة التصرفات الصغيرة . لا توجد قاعدة محددة لتعيين واختيار طول المصـــفاة ولكـــن فى دراسات حقلية لأمثلة مختلفة نحو استخدام المصفاة القصيرة فى حالات معينة يوضح المبادئ العامة .

فـــى الحالة الموضحة فى الشكل (١٥-٩ أ) طول المصفاة لبئر صغير يكون طولهـــا لا يقل عن ثلث سمك طبقة الرمل الخشن . وفى الحالة الموضحة فى الشكل (١٥- ٩- ب) والشكل (١٥-٩ S) فإن طول المصفاة يكون تقريباً بكل سمك طبقة الـــرمل الخشن . وفى حالة عدم تحقيق المصفاة بهذا الطول للتصرف المطلوب لعدم توفـــر المســـاحة المفتوحة الكافية للمصفاة فإن المصفاة يتم امتداها لمسافة قصيرة إلى منطقة الرمل الناعم إلى أعلا .

فـــى حالـــة إنشاء بئر فى خزان جوفى موضع فى الشكل (٥٣ – ج) يتم تنفيذه فى الطـــبقة العمـــيقة للرمل الخشن فقط . ويكون طول المصفاة تقريباً نصف سمك طبقة الرمل الخشن ولا توجد حاجة لامتداد المصفاة إلى أسفل نحو الرمل الناعم .

ورغـــم مـــا تـــم توضـــيحه من عدم استخدام مصفاة طويلة فى الآبار الصغيرة لعدم اقتصـــادياتها ، ولكـــن يلزم التأكيد على توفير مثل هذه الآبار بالمصافى ذات الطول الصحيح لتأكيد الطاقة الكافية المطلوبة .

وخاصـــة أن احتـــياجات المياه تزداد. زيادة إنتاجية (تصرف) البئر يمكن زيادتها بزيادة طول المصفاة على شريطة أن المياه تسحب من تربة رملية مشبعة ذات سمك مناسب . فمثلاً مصفاة بطول ٣ قدم عند استخدامها بدلاً عن مصفاة بطول ٢ قدم يمكـــن مـــن ضـــخ ٥٠ % زيادة من المياه مع نفس الانخفاض مع افتراض أن سمك الخـــزان الجوفى ٧ – ٨ قدم . مصفاة بئر بطول ٤ قدم فى نفس هذه الظروف سينتج تصرف مياه بزيادة الثلث عن حالة البئر بمصفاة طولها ٣ قدم .

يجب أن نعرف أن زيادة طول المصفاة أينما أمكن سوف يحسن من تصـــرف البئر إلى درجة كبيرة عن زيادة القطر .

التصميم للحماية من التلوث : Design For Sanitary Protection

نظـــراً لعدم انتظام استقامة أجناب الحفر للبئر ولكون قطر الحفر بالضرورة يجب أن يكون أكبر من قطر الماسورة المستخدمة كقيسون ، لذلك توجد فراغات حول القطـــر الخارجى للقيسون مهما تكن طريقة الإنشاء . يمكن للمياه الملوثة من الصرف

السطحى أو من التربة غير تربة الخزان الجوفى المزود خلال ثقوب التآكل فى المصفاة حيث تتحرك إلى أسفل خلال هذه الفراغات . وهذا يلوث المياه المنتجة من البئر . الشكل (١٦-٩) يبين حالات تلوث المياه فى الخزان الجوفى وفى البئر . لذلك وكقاعدة عامة يجب سد الفراغ خارج القيسون ضمن خطة تصميم البئر . عملية حجز المياه حول المحيط الخارجى للقيسون تتم حتى العمق الآمن إما عند الوصول إلى طبقة صماء التى تعلو الخزان الجوفى أو حتى الوصول إلى منسوب الضخ ففى هذه الحالة ومع اتباع قواعد أخرى يمكن حماية المياه المنتجة من البئر من التلوث البكتريولوجى وخاصة بالنسبة للخزانات الجوفية من التربة الرملية الحاملة للمياه .

بالإضافة إلى الظواهر الهيدروليكية التى نوقشت فإن تصميم البئر لإنتاج مياه للشرب وللمحافظة المستمرة على الحماية من التلوث يجب أن تؤخذ الإجراءات الآتية:

أولاً : الإجراء الأول هو أدنى عمق لقيسون البئر الذى يوفر منع التسرب للمياه حول محيطه الخارجى .

ثانياً : هو تركيب القيسون بإحكام ليمنع دخول المياه مع العزل الخارجى للحماية من التآكل وإحداث ثقوب فى القيسون .

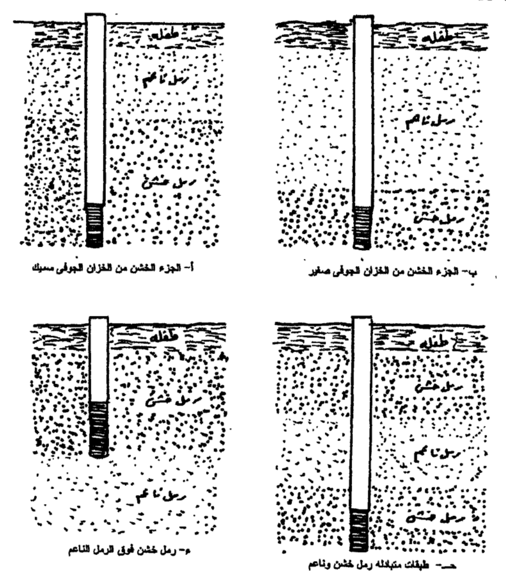
عند تصميم البئر فى خزان جوفى رملى يلزم توفير قيسون محكم ضد تسرب المياه ممتد إلى عمق ٥ قدم أو أكثر تحت أدنى منسوب متوقع للضخ . عندما يكون منسوب الضخ أقل من ٢٥ قدم من سطح الأرض فإن القيسون يجب أن يمتد إلى ١٠ قدم أسفل منسوب الضخ . الاستثناء فى هذه الحالة هو عند وجود الخزان الجوفى من التربة الرملية الغير سميكة محصور أسفل طبقة سميكة من الطفلة أو أى مادة صماء شكل (١٧-٩ أ) .

الآبار التى تضخ مواد من الحجر الرملى يتم تصميمها بقيسون مانع لنفاذ المياه ممتد إلى عمق كبير تحت منسوب سطح الأرض وأسفل أى تكوينات حتى الوصول إلى المنطقة الصخرية (شكل ١٧- ٩ ب) . فى حالة وجود صخور متشققة فوق طبقة الحجر الرملى فإن القيسون يجب أن يمتد إلى ١٥ قدم أو أكثر فى الحجر

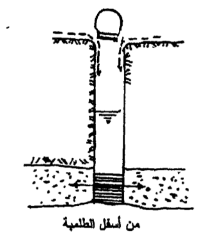
الرملى وذلك مع العزل بطبقة من المونة الأسمنتية (Grouting) حول المحيط الخارجى للقيســون وبكــامل استطالته (مادة التحشية (Grouting) تتكون من المونة الأسمنتية بنسبة ٢٥ لتر ماء لكل شيكارة أسمنت مضاف إليها ٣ – ٤ كيلو جرام بنتونيت الذى يعمل على عدم ترسيب الأسمنت) تصمم الآبار المنتجة لمياه الشرب من خزان جوفي مــن الصــخور المتشــققة بقيسون مانع لنفاذ المياه وممتد إلى عمق كبير أسفل سطح الأرض وأســفل أى تكوينات صخرية نتيجة للرمال الصخرية التى يمكن وجودها فى المحيط القريب من البئر . الهدف هو سحب المياه من أقصى عمق للخزان الجوفى . زيــادة مسافة التسرب توفر الحماية الطبيعية لنوعية المياه . التكوينات الصخرية ذات التشــققات والفتحات الكبيرة فرصة التنقية الطبيعية للمياه فيها ضعيفة مثلما يحدث فى حالات تحرك المياه الجوفية فى تربة حاملة غير صماء . يجب أن يؤخذ فى الاعتبار عن التصميم للبئر التحشية الأسمنتية (Grouting) حول قيسون البئر من سطح التربة حــتى العمــق المناســب. وهذا يتطلب قطر حفر أكبر من قطر القيسون إلى العمق المطلوب لتوفير فراغ حول قيسون البئر لوضع مادة التحشية الأسمنتية (Fluid Grout) حول ماسورة القيسون . إن ظهور الملوثات فى المياه يرجع إلى عدم لحام الفراغ حول القيســون وهــذا ما أثبتته الخبرة وذلك رغم ما يتم من احتياطات على السطح العلوى وزيــادة عمــق القيسون . وخاصة فى حالة الآبار فى الخزانات الجوفية حيث التربة الرملــية الحاملــة للمــياه . زيادة قطر الحفر يمكن أن يكون بدون قيسون فى التربة المتماســكة مثل الطفلة الجافة المتماسكة أو الصخور الغير مسامية أو بقيسون مؤقت بالقطــر المناســب . يكون من المهم سحب القيسون المؤقت عند وضع مادة التحشية الأســمنتية (Grouting) وليس بملئ الفراغ بين القيسون المؤقت والقيسون الأساسى . حيــث يمكن حدوث التسرب الرأسى بسرعة خارج أى قيسون بدون تحشية فى التربة القريبة من السطح .

قطــر الحفر الزائد عن القطر الخارجى للقيسون المستديم يجب أن يتراوح ما بين ٤ إلى ٦ " لوضع التحشية الأسمنتية .. فى حالة استخدام ماسورة التحشية Grout)

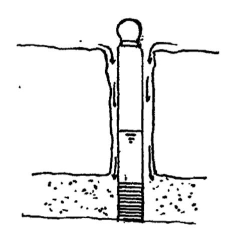
(Pipe لا يقــل القطــر الزائد عن ٦ " لإمكان استخدام ماسورة التحشية (٢") خارج القيســون . أمــا فــى حالة وضع مادة التحشية بالضغط إلى أسفل خلال وخارج قاع القيســون إلى الفراغ المحيط فإن القطر الخارجى للحفر قد يقل إلى ٢" أكبر من قطر القيسون .



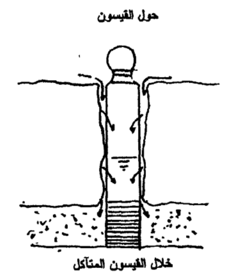
شكل (١٥-٩) حالات مقترحه لوضع المصفاة فى التكوينات الرملية الحاملة للمياه ذات الطبقة المختلفة



من أسفل الطلمبة

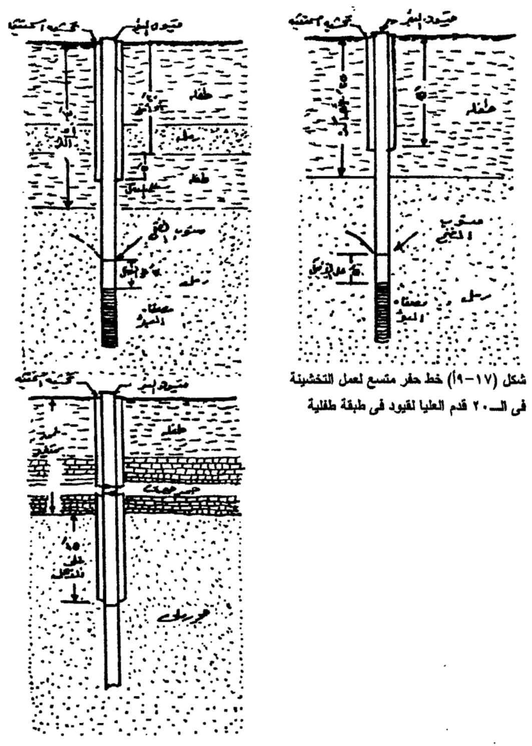


حول القيسون



خلال القيسون المتآكل

شكل (١٦-٩) وصول المياه الملوثة إلى مياه البئر



شكل (١٧-٩أ) خط حفر متسع لعمل التخشينة في الـــ٢٠ قدم العليا لقيود في طبقة طفلية

شكل (١٧-٩ب) عندما تخترق البئر صخور متشققة يتم تخشينه مصفاه البئر إلى العمق الكامل.

العمــق المطلــوب للفــراغ حول القيسون لوضع مادة التحشية يختلف طبقاً للظروف الجيولوجية وحالة الموقع . الآبار فى الخزانات الجوفية الرملية حيث الطبقة العلــيا من سطح التربة تكون طفيلية يتم فى هذه الحالة وضع التحشية حتى عمق ٢٠ قدم أو أكثر .

الآبــار فــى الخزانات الجوفية من الحجر الرملى حيث الطبقة العليا من مادة غير صماء يجب أن تتم التحشية إلى عمق لا يقل عن ٢٥ متر . فى حالة الطبقة العليا من صخور بها تشققات أو جيوب فإن القيسون تتم التحشية حوله حتى عمقه بالكامل . وكذلــك فى حالة الخزانات الجوفية من الصخور المتشققة أو التى بها جيوب يتم عمل التحشية الأسمنتية للآبار حول العمق الكامل للقيسون .

لحماية البئر من وصول المياه الملوثة السطحية يراعى أن يرتفع قيسون البئر مســافة لا تقــل عــن مــتر واحد فوق سطح الأرض بالإضافة إلى عمل بلاطة من الخرســانة حول قيسون البئر بقطر لا يقل عن ١٠ متر وبسمك ٢٠ سم حول القيسون ويتدرج السمك إلى الخارج بميل حتى سمك ٥ سم شكل (١٨-٩) .

يتم اختيار موقع البئر بعيداً عن مصادر التلوث للمياه الجوفية شكل (١٩-٩) .

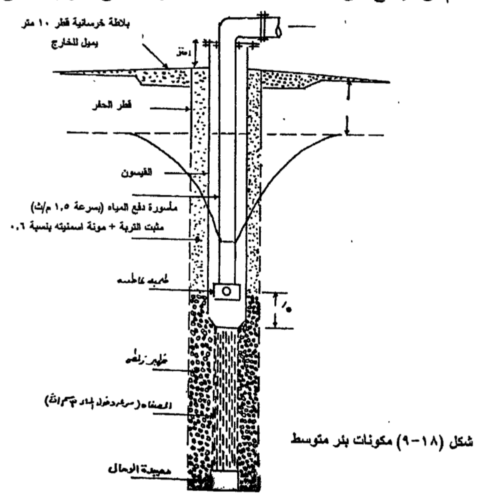
السحب الآمن من الخزان الجوفى الساحلى :

عــند وجود خزان جوفى ساحلى أسفل منسوب البحر فإن الجزء العلوى من الخــزان الجوفى يحتوى على مياه عذبة بينما الجزء السفلى يحتوى على مياه مالحة ، حيــث تعتبر المياه العذبة سابحة فوق المياه المالحة . ونظراً لأن كثافة المياه المالحة أعــلا مــن العذبة فإن منسوب الحدود بينهما تظل فى اتزان هيدروليكى . تقريباً تمتد المياه العذبة إلى عمق ٤٠ ضعف منسوب خط المياه العذبة فوق متوسط منسوب سطح البحر وبذلك تتسرب المياه العذبة إلى البحر الشكل (٢٠-٩) يوضح هذه العلاقة . فى حالة سحب المياه العذبة بالآبار عندئذ ينخفض منسوب خط المياه وبذلك تتحرك المياه المالحة إلى الداخل وهذه الظاهرة تسمى (Sea Water Intrusion) . فى حالة ضخ جزء فقط من تصرف المياه الأرضية وأن تكون آبار السحب على مسافة بعيدة عن الشاطئ

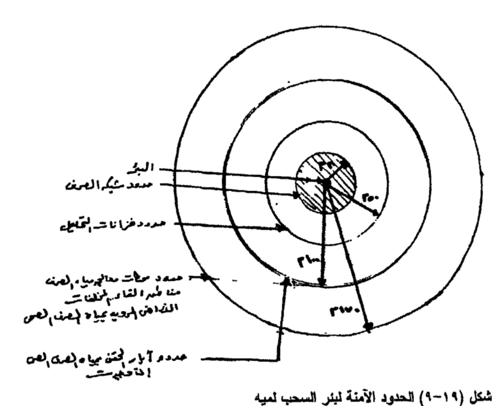
فإن المياه المالحة فى الخزان الجوفى يمكن أن تظل بعيدة عن تأثير البحر بفعل تدفقات المـــياه العذبة المتبقية وبذا يمكن أن تستمر الآبار فى إنتاج مياه عذبة . مع مراعاة أن يكـــون معدل السحب أقل كثيراً من معدل الشحن للخزان الجوفى وذلك للمحافظة على منسوب التداخل بين المياه العذبة والمالحة على مسافة آمنة من موقع البئر .

فـــى حالة الخزانات الجوفية حيث الشحن السريع من المصادر السطحية يجب أن يتساوى معدل السحب مع معدل الشحن ولا يزيد .

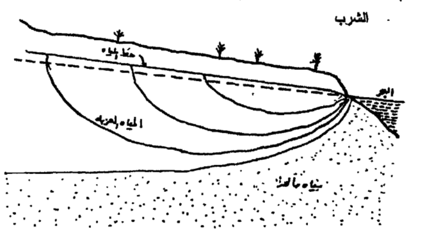
فـــى حالة الخزانات الإرتوازية العميقة حيث الشحن ضعيف أو غير موجود قريباً من بئر الإنتاج ، فإن معدل الضخ يمكن أن يزيد عن معدل الشحن . ولكن يجب التحكم فى الإنتاج على ضوء كمية السحب من المخزون الكلى للخزان الجوفى .



شكل (١٨-٩) مكونات بئر متوسط



شكل (١٩-٩) الحدود الآمنة لبئر السحب لميه الشرب



شكل (٢٠-٩) مقطع رأسى يوضح عناصر الاتزان الهيدروديناميكى بين المياه العزبه والمياه المالحة فى خزان جوفى فى ساحلى حيث التغذية بالمياه العزبة نحافظ على منسوب خط المياه والضخ من الآبار يمكن أن يغير الاتزان ويسبب دخول المياه المالحة إلى الداخل

الفصل العاشر

مصافى الآبار وطرق تحليل حبيبات التربة

١٠

وظيفة مصفاة البئر :

مصفاة البئر هى تجهيزة ترشيح تعمل كمأخذ للبئر فى الخزانات الجوفية . تسمح المصفاة بدخول المياه إلى البئر من التربة المشبعة وتمنع دخول الرواسب والرمال ، وكذلك تعمل من الناحية الإنشائية فى تحمل مادة تربة الخزان الجوفى الغير متماسكة . وتتوقف قيمة المصفاة على ما تحققه من نجاح للبئر وكفاءته . تشمل خصائص المصافى الهامة ووظيفتها الآتى :

١- الخصائص :

- نسبة عالية من المساحة المفتوحة .
- فتحات لا يحدث لها انسداد
- مقاومة للتآكل .
- تتحمل عامود الماء والقيسون وتتحمل إجهاد الانهيار .
- يسهل تنميتها Easily Developed
- أدنى فقد فى الضغط خلال المصفاة .
- التحكم فى ضخ الرمال فى كل أنواع الخزانات الجوفية .
- لا تحدث بها ترسيبات .

٢- تعظيم كل من هذه الخصائص فى إنشاء المصفاة ليس دائماً ممكن طبقاً للتصميم الحقيقى للمصفاة . وعموماً فإن المصفاة ذات الخصائص التالية توفر أفضل الاستخدام فى معظم الظروف الجيولوجية وتحقق الخصائص والوظائف السابقة.

- فتحات المصفاة يجب أن تكون على مسافات توفر أقصى مساحة مفتوحة مع تحقيق القوة المطلوبة والاستفادة من التوصيل الهيدروليكى للخزان الجوفى وبما تمكن من التنمية الجيدة .
- أن تكون المصفاة من مادة لا تتأثر بعدوانية المياه الجوفية ولا تحدث ترسيبات.
- تكون المصفاة المعدنية من معدن واحد لتفادى حدوث التآكل الجلفنى .

- تكون المصفاة بالقوة الكافية لتقاوم الإجهادات المصاحبة أثناء وبعد الإنشاء.

أنواع المصافى :

- مصفاة الفتحة المستمرة : Cotinous Slot Screen

يستخدم هذا النوع من المصافى على نطاق واسع فى آبار الزيت والغاز والمياه وهى الأكثر شيوعاً فى آبار المياه . تصنع هذه المصفاة بلف أسلاك على البارد وذات المقطع المثلث حول أسياخ صلب طولية مصفوفة لتعطى الشكل الأسطوانى. يتم تثبيت السلك على الأسياخ باللحام بما ينتج قطعة واحدة متماسكة لها قوة عالية مع أقل وزن . وتصنع هذه المصافى من الصلب المقاوم ٣٠٤ ، ٣٠٦ أو من الصلب الكربونى المجلفن أو الغير مجلفن أو من مادة PVC .

تصنع هذه المصافى بعمل فواصل بين اللفات المتتالية للسلك الخارجى للحصول على الفتحة المطلوبة . وتصنع بفتحات تتراوح ما بين ٠,٠٠٦ إلى ٠,٠٥٠ بوصة (٠,١٥ إلى ٦,٤ مليمتر) . كل الفتحات تكون نظيفة وخالية من الشوائب . فى حالة المصافى ذات الأقطار الصغيرة المغطاة بشبكة من السلك (Wire Mesh) ، فإن عدد الفتحات فى النسيج لكل بوصة يعبر عنه برقم النسيج (Gauze No) . العلاقة بين رقم الفتحة ورقم النسيج موضح فى الشكل (١٠-١) (Relation Ship Between Slot No And Gouze No) .

رقم النسيج (Gauzeno)

٩٠ ٨٠ ٧٠ ٦٠ ٥٠ ٤٠ ٣٠ ٢٠

٦ ٧ ٨ ١٠ ١٢ ١٥ ١٨ ٢٠ ٢٥ ٣٥ ٥٠

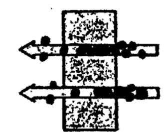
رقم الفتحة(Slotne)

شكل (١٠-١) مقارنة بين قطر الفتحة بالبوصة على ألف ورقم النسيج للابعاد العادية لفتحات المصافى

الفتحات ذات الشكل ٧ لصناعة المصفاة تصمم لمنع الانسداد حيث تكون ضيقة عند السطح الخارجى ومتسعة بالداخل . وهذا يعمل على حجز الأجسام الكبيرة ولا تسد الفتحات والأجسام التى تدخل لا تسبب انسداد شكل (٢-١٠ - أ ، ب) . المصافى حيث الفتحات بدون الشكل ٧ تحدث بها انسداد بما يسبب خفض الإنتاج أو زيادة الإنخفاض شكل (٣ -١٠) المصفاة ذات الفتحات المستمرة توفر مساحة مفتوحة لوحدة المساحة من سطح المصفاة أكثر من أى نوع آخر من المصافى.الجدول(١-١٠)

جدول (١-١٠) نسبة المساحة المفتوحة لمختلف المصافى ذات الفتحات المستمرة من أسلاك مختلفة الشكل

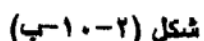
وجه السلك بالبوصة	العرض مم	نسبة المساحة المفتوحة طبقاً لقطر الفتحة				
		٠,٠٤٠بوصة ٠,٢٥ مم	٠,٠٢٥بوصة ٠,٦٤ مم	٠,٠٥٠بوصة ١,٢٧ مم	٠,١٠٠بوصة ٢,٥٤ مم	٠,١٥٠بوصة ٣,٨١ مم
٠,٠٤٧	١,١٩	١٧,٥	٣٤,٧	٥١,٣	٦٨	٧٦,١
٠,٠٦١	١,٥٥	١٤,١	٢٩,١	٤٥,٠	٦٢,١	٧١,١
٠,٠٩٢	٢,٣٤	٩,٨	٢١,٤	٣٥,٢	٥٢,١	٦٢,٠
٠,١١٠	٢,٧٩	٨,٣	١٨,٥	٣١,٣	٤٧,٦	٥٧,٧
٠,١٢٠	٣,٠٥	٧,٧	١٧,٢	٢٩,٤	٤٥,٥	٥٥,٦
٠,١٣٥	٣,٤٣	٦,٩	١٥,٦	٢٧,٠	٤٢,٦	٥٢,٦
٠,١٥٦	٣,٩٦	٦,٠	١٣,٨	٢٤,٣	٣٩,١	٤٩,٠
٠,١٧٨	٤,٥٢	٥,٣	١٢,٣	٢١,٩	٣٦,٠	٤٥,٧
٠,٢٠٠	٥,٠٨	٤,٨	١١,١	٢٠,٠	٣٣,٣	٤٢,٩
٠,٢١٥	٥,٤٦	٤,٤	١٠,٤	١٨,٩	٣١,٧	٤١,١



شكل (٢-١٠-أ)

هذه الفتحات المستقيمة تساعد على حدوث انسداد





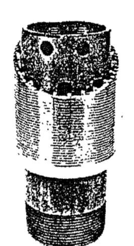
شكل (٢-١٠-ب)

الفتحات على شكل حرف V لا يحدث بها انسداد




شكل (٣-١٠) مصفاة ذات الفتحة المستمرة
Continuos - Slotscreen

شكل (٤-١٠-أ) المصافى المقنطرة تركب فى المصافى ذات الظهير الزلطى لأن حبيبات رمل التربة يمكنها سد الفتحات



شكل (٤-١٠-ب) مصفاة من الماسورة المثقبة ومحاطة بمصفاة ذات فتحات مستمرة تصنع من الصلب أو البلاستيك



شكل (٤-١٠-حـ) قيسون به فتحات ذات نسبة مساحة مفتوحة قليلة

لتحقيق أفضل كفاءة للبئر فإن نسبة المساحة المفتوحة فى المصفاة يجب أن تساوى أو أكبر من متوسط النفاذية لتربة الخزان الجوفى . نفاذية الحجر الرملى والرمل والزلط فى الجدول (٢-١٠) مصافى الفتحات المستمرة عادة تساوى أو تزيد عن المساحة المفتوحة لمادة الخزان الجوفى عدا فى الحالة الغير عادية للفتحات الصغيرة لمنع دخول الرمال الرفيعة .

تدفق المياه بحرية أكثر خلال المصافى ذات المساحة المفتوحة الكبيرة مقارنة بالأخرى ذات مساحة الفتحات المحدودة ، سرعة الدخول خلال مساحة الفتحات الكبيرة منخفضة وبذلك فإن الفقد فى الضغط للمصفاة يكون منخفض عند معدل صرف معين . المصافى ذات المساحة المفتوحة الكبيرة وسرعة دخول المياه قليلة تعرضها للترسيبات قليلة بما يزيد من العمر الافتراضى للبئر . كما تقلل المساحة الكبيرة المفتوحة من تأثير عدوانية المياه . هذا بالإضافة إلى أن شكل الفتحات ٧ يساعد فى عملية التنمية الناجحة . زيادة الإنتاجية للبئر وقلة الانخفاض مرتبط باستخدام المصافى ذات الفتحات المستمرة مقارنة بباقى أنواع المصافى وإن كان سعر الشراء مرتفع إلا أنه يخفض إلى حد كبير تكاليف الصيانة فى حالة استخدام أنواع أخرى .

جدول (٢-١٠) نسبة النفاذية لأنواع التربة للعينات المعاد تعبئتها

المادة	النفاذية %
زلط خشن	٢٨ %
زلط متوسط	٣٢ %
زلط رفيع	٣٤ %
رمل خشن	٣٩ %
رمل متوسط	٣٩ %
رمل رفيع	٤٣ %
حجر رملى حبيبات رفيعة	٣٣ %
حجر رملى حبيبات متوسطة	٣٧ %

أنواع المصافى الاخرى :شكل (٤ – ١٠)

المصافى ذات الفتحات المقنطرة (Louvered And Bridge Slot Screen)

فى هذا النوع من المصافى تكون الفتحات فى صفوف إما عمودية أو موازية لمحور المصفاة . تصنع هذه المصافى إما من المواسير أو من ألواح الصلب حيث يتم التخريم باستخدام الضغط على فرم ثم لف الألواح لعمل ماسورة المصفاة .

وفتحات هذه الفتحات يحدث لها انسداد أثناء عملية التنمية ولذلك يقتصر استخدامها فى حالة استخدام الظهير الزلطى حول المحيط الخارجى للمصفاة شكل (٤–١٠/أ) .

المصافى ذات القاعدة من ماسورة : Pipe Base Screen

هذه المصافى تستخدم عادة فى حقول البترول نظراً لقوتها واختراقها لأعماق كبيرة وقد تستخدم فى آبار المياه . تصنع هذه المصافى بلف مصفاة ذات الثقوب المستمرة (Continious Slot Screen) على ماسورة مثقبة شكل (٤–١٠/ب) وتسمى (Wrapped On Pipe Screen) أو بلف السلك حول أسياخ طولية موضوعة حول المحيط الخارجى للماسورة المثقبة بمسافات معينة وهذا النوع أكثر كفاءة بسبب احتمالات الانسداد ضعيفة لفتحات الماسورة نظراً لبعد فتحات المصفاة عن جسم الماسورة المثقبة والأفضل هو بوضع الماسورة المثقبة داخل المصفاة ذات الفتحات المستمرة بما يعطى قوة للمصفاة شكل (٤–١٠/جـ) .

ورغم أن هذا النوع من المصافى له نظامين للفتحات داخلى وخارجى إلا أن إجمالى المساحة المفتوحة أقل من المصفاة ذات الفتحات المستمرة . تصنع الماسورة المثقبة والمصفاة من معدن واحد لتجنب حدوث تآكل جلفنى ويكون المعدن إما من الصلب المقاوم أو الصلب الكربونى .

المواسير المثقبة المعدنية أو من البلاستيك شكل (٤–١٠/د)

فى هذا النوع من المواسير تصنع الثقوب يدوياً بما يضعف التحكم فى قطر

الثقوب ويكون إجمالى المساحة المفتوحة قليل . وتستخدم المصافى المثقبة من البلاستيك فى الأراضى الطينية وقود تحملها ٢٠ % من قوة تحمل الماسورة المعدنية .

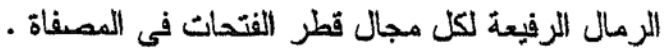
دليل المصفاة أو مقدمة المصفاة : Well Points

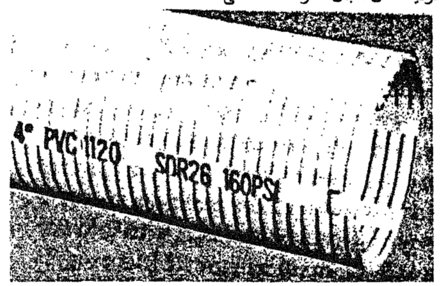
تصنع مقدمة المصفاة بأشكال وأقطار مختلفة . فقد تستخدم المصفاة ذات الفتحات المستمرة مثبت بها مسلوب من الصلب إلى أسفل باللحام ووصلة مقلوظة فى الطرف العلوى . النوع الآخر من النحاس الأصفر أو الصلب المقاوم الذى يكون غطاء لماسورة مثقبة من الصلب المقاوم مغطاة بغطاء من شبك السلك . قاعدة الماسورة الصلب (التشكيل على البارد) لها أكتاف تساعد على إزلة الأجسام الكبيرة أثناء دفع المصفاة إلى أسفل . ونوع آخر عبارة عن ماسورة صلب مجلفن مثقبة بثقوب نصف قمرية (نصف دائرة مستطيلة) . أو ماسورة من الصلب المجلفن بداخلها ماسورة من البلاستيك مغطاة بطبقة من شبك السلك لحماية شبكة السلك من الصخور والأحجام أثناء دفعها إلى أسفل .

قطر فتحات المصفاة يعبر عنه بعدد الفتحات (Mesh Number) الذى هو عدد الفتحات فى البوصة الطولية . عدد الفتحات العادى هو ٤٠ ، ٥٠ ، ٦٠ ، ٧٠ ، ٨٠ فتحة (Mesh) .

أقصى مساحة مفتوحة للمصفاة :

نسبة المساحة المفتوحة (مساحة الفتحات) فى مصفاة البئر يجب أن تساوى على الأقل نفاذية الرمال الحاملة للمياه أو المرشح الزلطى (Filter Back) . بفرض أن نفاذية الرمال ٣٠ % وأن نسبة المساحة المفتوحة فى مصفاة البئر ١٠ % . فإن الفرق يسبب إعاقة عند دخول الماء للبئر . وهذا يعنى زيادة الانخفاض عند معدل ضخ معين ، بسبب زيادة الفقد فى الضغط عند مرور المياه فى فتحات المصفاة . ولذلك مصافى الآبار يكون أداؤها أفضل عندما تكون المساحة المفتوحة للمصفاة كبيرة ما أمكن لمقطر فتحة معين مع توفر القوة للمصفاة لمقاومة الإجهادات . تعتبر المصفاة ذات الفتحات المستمرة (Continious Slot) هو النوع الوحيد المناسب للاستخدام فى حالة

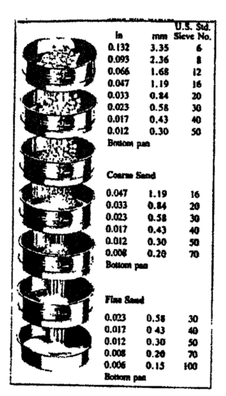

الرمال الرفيعة لكل مجال قطر الفتحات فى المصفاة .



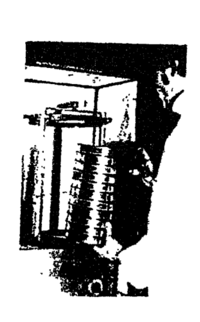
شكل (٤–١٠–ء) مصفاة من البلاستك بها فتحات التى تعادل نصف المساحة المفتوحة فى المصفاة ذات الفتحات المستمرة

تحليل قطر حبيبات التربة : Sediment Size Analysis

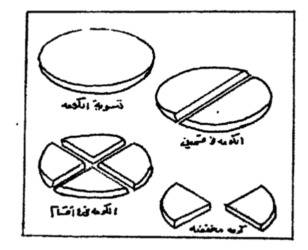
يعتبر اختيار قطر فتحة المصفاة خطوة أساسية لتأكيد أقصى كفاءة للبئر . يبنى قطر فتحة المصفاة على تحليل قطر حبيبات عينات التربة . بتحليل الأقطار للحبيبات فى العينة يمكن عمل منحنى توزيع قطر الحبيبات . يستخدم لذلك طرق كثيرة . والأكثر استخداماً من هذه الطرق هو بتمرير المادة خلال مجموعة المنخل ٨ بوصة شكل (٥–١٠) (٢٠٣ مم) من النحاس الأصفر أو الصلب المقاوم حيث يتم هزها بواسطة ماكينة الإهتزاز (Vibration Machine) شكل (٦ – ١٠) . المناخل ذات القطر الأقل (٣ بوصة – ٧٦ مم) يمكن هزها يدوياً . أثناء عمل المنخل فإن كل منخل يمرر نسبة معينة من العينة ، بحيث تتجمع المادة الرفيعة فى المنخل الأخير . عند توقيع هذه النسب بالوزن لكل العينة توفر رؤية لطبيعة مكونات العينة جدول (٣–١٠) . توجد طرق أخرى منها التحليل بالترسيب باستخدام أنبوبة ترسيب سرعة الترسيب للمواد أصغر من ٠,٠٠٣ بوصة (٧٤ ميكرون) (Velocity Setting Tubes) تحليل المنخل لا يوفر فقط الأساس لتعيين قطر الفتحة .



شكل (١٠-٥) مجموعة المناخل



شكل (١٠-٦) ماكينة هز المناخل



شكل (١٠-٧)
طريق التقسيمات
الأربعة

عمل تحليل المنخل :

معدات الاختبار لعملية المنخل تشمل لوح ساخن لتجفيف العينة ، مجموعة من

مناخل الاختبار وميزان حساس لواحد جرام لوزن مادة العينة . تستخدم مناخل قطر ٨ بوصة عادة . يجب أن تكون العينة تامة الجفاف قبل عمل تحليل المنخل . إذا كانت العينة رطبة يتم تجفيفها فوق حرارة منخفضة مع التقليب من آن لآخر . بعد جفاف العينة و فى حالة وجود طفلة فإن حبيبات الرمل تلتصق مما يتطلب العمل على إزلة الالتصاق وتفكك الحبيبات . فى حالة العينة كبيرة جداً على المناخل (أكثر من ٢٢٤ جرام) يمكن خفضها باستخدام تقسيم العينة (Sample Splitter) أو طريقة الأربع أقسام (Quartering Method) . إذا كانت العينة من الرمال الرفيعة يستخدم فقط ١١٢ جرام وذلك لعدم زيادة التحميل على المناخل ذات الثقوب الضيقة (Fine Mesh) . تحدث أخطاء فى حالة زيادة التحميل على المناخل ، وهذا يؤدى إلى تصميم المصفاة التى تؤدى إلى ضخ الرمال .

فى حالة استخدام طريقة الأربع أقسام يتم عمل كومة من العينة الجيدة الخلط لملئ سطح مستوى ثم يتم تسويتها شكل (٧-١٠) . تكون الكومة المستوية على شكل دائرة ثم تقسم إلى أربعة أقسام . تخفض العينة إلى النصف بإزالة ربعين متقابلين . وخلط الربعين الآخرين معاً . فى حالة استمرار كبر العينة تكرر الخطوة السابقة مع عدم محاولة تحضير عينة ذات وزن معين .

يتم اختبار ٥ -٨ منخل ذات فتحات متتالية التى ستقوم بفصل العينة إلى مختلف حجم الحبيبات . المنخل بالفتحات الواسعة (Coarsest Seive) يجب أن يحجز أكثر من ٢٠ % من العينة . مجموعات المناخل المفتوحة موضحة فى الشكل (٨-١٠) فتحات المناخل مصممة لأقطار على ألف من البوصة أو المليمتر أو برقم الفتحة (Mesh No). يتم وضع المناخل حيث المنخل بالفتحات الأصغر يكون فى القاع والمنخل بالفتحات الأكبر يكون على القمة . يتم وزن العينة الجافة وتسجيل العينة ثم تصب العينة الجافة فى المنخل العلوى . يتم هز كل المناخل بحركة دائرية وقليل من الحركة العليا والسفلى مع الرج لجعل المادة تتحرك فى كل منخل ومنع الانسداد . إذا أمكن ترج العينة ميكانيكياً لمدة لا تقل عن خمسة دقائق .

تفرغ العينة المحتجزة فى المنخل العلوى فى إناء أو على ورقة عريضة . ثم انقل هذه المادة إلى كفة الميزان . سجل الوزن وحجم فتحة المنخل الذى حجزت عليه . يتم التخلص من أى حبيبات محتجزة فى المنخل مع تجنب إتلاف عيون المنخل . تضاف المادة المحتجزة على المنخل الثانى الذى تم وزنه . سجل الوزنتين . فرغ كل وزنة بالتتالى وسجل الوزن لتراكم العينة فى كل حالة . أخيراً تضاف المادة الأخيرة فى القاع ثم يتم الوزن . هذا الوزن التراكمى يجب أن يساوى وزن المادة الأصلية خلال ٢ – ٣ جرام . تراكم الوزن لتسجيل العينة من المناخل المتتالية المعروف . يتم حساب النسبة المئوية للحجز بقسمة الوزن المحتجز على كل منخل على الوزن الكلى للعينة جدول (٣-١٠) .

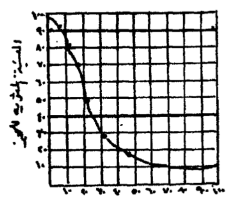
جدول (٣-١٠) النسبة المئوية للحجز

قطر فتحة المنخل		الوزن المحتجز		نسبة الحجز
بوصة	مليمتر	أوقية	جرام	
٠,٠٤٦	١,١٧	١,٠	٢٨,٤	١٧
٠,٠٣٣	٠,٨٤	١,٦	٤٥,٤	٢٨
٠,٠٢٣	٠,٥٨	٢,٦	٧٣,٧	٤٧
٠,٠١٦	٠,٤١	٣,٩	١١٠,٦	٤٠
٠,٠١٢	٠,٣٠	٤,٦	١٣١,٤	٨٢
٠,٠٠١٨	٠,٢٠	٥,٣	١٥٠,٢	٩٤
الحلة السفلى		٥,٦	١٥٨,٨	

* الوزن الأصلى ٥,٦ أوقية (١٥٨,٨ جرام)

وهذه البيانات جاهزة للتوقيع على ورقة رسم بيانى . النسبة المئوية للمحتجز . على كل منخل اختبار توقع مقابل قطر الفتحة بالبوصة على ألف أو بالمليمتر .

توقع نسبة الحجز على المحور الرأسى واتساع الفتحة على المحور الأفقى . اتساع فتحة المنخل يقدر به قطر أصغر الحبيبات المحتجزة على كل منخل . يتم ربط هذه النقط كما فى الشكل (٨ – ١٠) .



شكل (٨-١٠) قطر الحبيبات على الف من البوصة

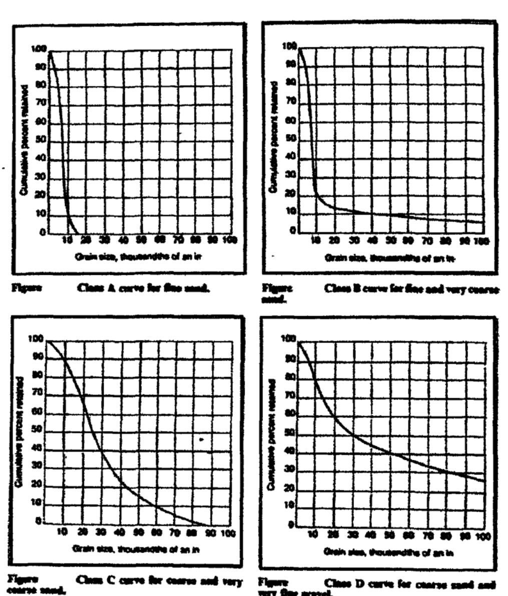
Wentworth Classification	Size Range
Boulder	10.08 in & above (256 mm & above)
Cobble	2.52 to 10.08 in (64 to 256 mm)
Pebble*	0.16 to 2.52 in (4 to 64 mm)
Granule (very fine gravel)	0.08 to 0.16 in (2 to 4 mm)
Very coarse sand	0.04 to 0.08 in (1 to 2 mm)
Coarse sand	0.02 to 0.04 in (0.5 to 1 mm)
Medium sand	0.01 to 0.02 in (0.25 to 0.5 mm)
Fine sand	0.005 to 0.01 in (0.125 to 0.25 mm)
Very fine sand	0.002 to 0.005 in (0.063 to 0.125 mm)
Silt	0.0002 to 0.002 in (0.004 to 0.063 mm)
Clay	Below 0.0002 in (Below 0.004 mm)
*The USGS has subdivided this category as follows:	
Very coarse gravel	1.26 to 2.52 in (32 to 64 mm)
Coarse gravel	0.63 to 1.26 in (16 to 32 mm)
Medium gravel	0.31 to 0.63 in (8 to 16 mm)
Fine gravel	0.16 to 0.31 in (4 to 8 mm)

جدول (٤-١٠) تقسيم حجم الحبيبات

منحنى توزيع قطر الحبيبات:

منحنى توزيع قطر الحبيبات يوضح من أول لحظة كيف أن مادة العينة أكبر أو أصغر من قطر معين . فمثلاً فى الشكل (٨-١٠) يتضح أن ٩٠ % من العينة يتكون من حبيبات رمال أكبر من ٠,٠٠٩ بوصة (٠,٢٣ مم) و ١٠ % أصغر من هذا الحجم . وبقراءة المنحنى بطريقة أخرى فإن ٤٠ % من قطر حبيبات الرمل هو بقطر ٠,٠٢٦ بوصة (٠,٦٦ مم) أو ٤٠ % من العينة أكثر خشونة من ٠,٠٢٦ بوصة ، ٦٠ % أرفع من ٠,٠٢٦ بوصة . يستخدم طريقة التحليل ليس فقط فى تحليل تربة الخزانات الجوفية ولكن فى كثير من الأعمال الإنشائية وأعمال المياه كما فى حالة

رمال المرشحات .



شكل (٩-١٠)

هناك طرق كثيرة لتوصيف حجم الحبيبات فى كثير من الأعمال ، ولكن فى مجال المياه أخذ بمقياس استخدم بواسطة الأبحاث الجيولوجية الأمريكية (USGS - US Geological Survey) حيث استعملت مجال واحد لحجم الحبيبات من ٠,١٦ إلى ٢,٥ بوصة (٤ إلى ٦٤ مم) حيث قسمت إلى مجموعات كما فى الجدول (٤-١٠) .

وباستخدام هذا النظام لأربع منحنيات فى الشكل (٩-١٠) يعطى التوصيف التالى :

المنحنى (أ) رمال رفيعة .

المنحنى (ب) رمال رفيعة وخشنة جداً .

المنحنى (جـ) رمال خشنة وخشنة جداً .

المنحنى (ء) رمال خشنة وزلط رفيع جداً .

تعبير الحجم المؤثر (Effective Size) أخذ به فى رمال الترشيح وأعده هايزن فى عام ١٩٨٣ . ويعرف بحجم الحبيبات حيث يتم حجز ٩٠ % ومرور ١٠ % بالوزن من العينة . فى المنحنى (أ) الحجم المؤثر هو ٠,٠٠٣ بوصة (٠,٠٨ مم) فى المنحنى (جـ) الحجم المؤثر ٠,٠١ بوصة (٠,٢٥ مم) . ولدراسة ميل وشكل المنحنى استخدم هايزن تعبير معامل التجانس (Uniformity Coefficient) وهو عبارة عن نسبة الحجز لـــ ٤٠ % من العينة بالوزن مقسوماً على نسبة الحجز لـــ ٩٠ % من العينة (القطر المؤثر) . حيث كلما انخفضت قيمة معامل التجانس زاد التجانس لتدرج العينة بين هذه الحدود . وكلما زادت القيمة قل التجانس فى التدرج .

الفصل الحادى عشر

- تنميــة الآبــار

- اختبارات الضخ

- الإصلاح والصيانة

11

١- تنمية آبار المياه (Development of Water Wells) :

هي تصميم خطة لتعظيم إنتاج البئر من خلال التنمية الذى يتم لتحقيق هدفين :

(١) إصلاح التلف فى التربة نتيجة الحفر لاستعادة الخواص الهيدروليكية الطبيعية.

(٢) التغــير فـــي الخصائص الطبيعية الأساسية للخزان الجوفى قرب قطر الحفر بما يجعل تدفق المياه نحو البئر يتم بحرية .

يـــتم هذا باستخدام بعض القوة إلى المصفاة والتربة . كل الآبار يتم تنميتها قبل وضـــعها فـــى الإنـــتاج للحصول على مياه خالية من الرمال عند أقصى طاقة نوعية ممكنة.

تنمية البئر بالطرق المختلفة :

- **الضـــخ الزائد (Over Pumping) :** يتم الضخ بمعدل يزيد عن المعدل التصميمى للبـــئر وذلك باستخدام نفس الطلمبة حيث يمكن زيادة التصرف بخفض الرفع للمياه وإلقائهـــا فـــى منســـوب الأرض وفى حالة حدوث أى أعطال للطلمبة بسبب ضخ الـــرمال يتم عمل الإصلاح اللازم . يستمر الضخ ثم يتوقف لترتد المياه فى البئر (المـــياه فوق خط المياه الاستاتيكى عند توقف الضخ) وتخرج من فتحات المصفاة إلـــى التربة المحيطة بما يعمل على تفكك حبيبات التربة ثم يعاد الضخ وهكذا حتى يتم سحب المياه الخالية من الرمال .
- **الغسيل العكسى (Back Washing) :**

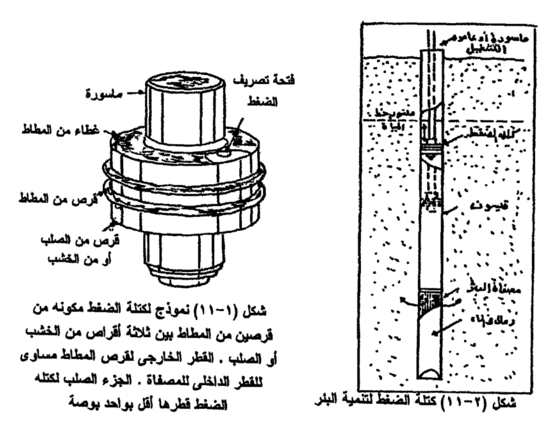
عملـــية التنمـــية ذات التأثـــير يجب أن تسبب التدفق المتغير الاتجاه خلال فتحات المصـــفاة حيـــث يمكن أن تتحرك الرواسب وتزال الحبيبات الصغيرة ثم يتم إعادة تنظـــيم حبيبات التربة . عملية الاندفاع للمياه (Surging Action) تتم بالرفع لعامود المـــياه لمســـافة مناســـبة فوق منسوب الضخ ثم تترك المياه لتسقط ثانياً فى البئر وتتكرر هذه العملية عدة مرات وتسمى هذه العملية بالجلد (Rawhiding) . قبل بدء عملـــية الاندفـــاع أو الجلد يتم تشغيل الطلمبة بطاقة منخفضة ثم التدرج فى الزيادة المـــتدرجة فـــى سحب المياه إلى أقصى طاقة وذلك لتفادى انسداد الطلمبة بواسطة

الرمال . حيث يبدأ تشغيل الطلمبة حتى وصول منسوب المياه إلى السطح ثم توقف الطلمــبة ، عــندئذ يسقط عامود الماء فى ماسورة الطلمبة إلى البئر . يتم تشغيل الطلمــبة وإيقافها بالسرعة التى تسمح بها وحدة الطاقة ومفاتيح التشغيل . وليتجنب الــتلف للطلمبة يتم تزويد صندوق التحكم بوحدة التحكم فى بدء التشغيل (Starter Lockout) . وذلــك لضــمان عدم بدء تشغيل الطلمبة عند دوران الريش (Back Spining) فى الاتجاه العكسى . أثناء هذه العملية يتم ضخ المياه فى الصرف لإزالة الرمال . فى كثير من الحالات لا يكون تأثير الاندفاع للمياه بالقوة الى تحقق أقصى نتائج . كما فى حالة الضخ الزائد . حيث يكون تركيز الضغط على الجزء العلوى مــن المصفاة أو فى المنطقة ذات التربة الأكثر نفاذية . وذلك يجعل الجزء السفلى مــن المصـــفاة غير تام التنمية وخاصة فى حالة الآبار ذات الطاقة العالية . ومن الطــرق الأخــرى القادرة على إزالة المواد الرفيعة فى وقت قليل مع تحقيق طاقة نوعية عالية الآتى :

الضغط الميكانيكى (Mechanicals Surging)

الضـــغط الميكانــيكى هــو طريقة أخرى لدفع المياه للتدفق إلى المصفاة ومن المصفاة وذلك بتشغيل مكبس (Plunger) إلى أعلى وإلى أسفل فى القيسون . كما فى حالة بستم العربة . الأداة المستخدمة تسمى كتلة الضغط (Surge Block) شكل (١-١١) ، شكل (٢-١١) . بعض العاملين فى حفر الآبار لا يفضلوا استخدام الكتلة الميكانيكية بحجــة أنها تدفع بالرمال الرفيعة إلى التربة قبل إزالتها . ولتجنب هذه المشكلة يجب تفــريغ البئر لتأكيد تدفق المياه إلى البئر وذلك قبل بدء عملية الضغط الميكانيكى . يتم إنزال كتلة الضغط فى البئر حتى منسوب ٣ – ٥ متر أسفل منسوب المياه الاستاتيكى ولكن فوق المصفاة. عملية الضغط بالكتلة تبدأ أولاً برفق نسبياً بما يسمح بتفتت المواد المســببة لانســداد المصـــفاة وتعلق ثم تتحرك نحو البئر . يتم استخدام كتلة الضغط بحرص شديد وخاصة فى حالة التربة فوق المصفاة تكون أساساً من الرمل الرفيع أو الطفلــة أو الطين الذى يمكن أن يتراكم فى المصفاة .. ومع بدء التحرك بسهولة للمياه

داخـــل وخـــارج المصـــفاة، يتم خفض كتلة الضغط على خطوات حتى فوق المصفاة مباشـــرة . مـــع خفض كتلة الضغط تزداد قوة ضغط المياه . فى حالة البئر بالمصفاة طويلة يكون من الأصوب تشغيل كتلة الضغط فى المصفاة لتركيز أدائها عند مختلف المستويات . عندئذ تبدأ التنمية فوق المصفاة ثم تتحرك إلى أسفل على مراحل . يكون وزن الكـــتلة بمـــا يســـمح بسقوطها بالمعدل المطلوب عند استخدام حبال من النيلون لربطها . استمرار الضغط لعدة دقائق ثم تسحب الكتلة من البئر .



شكل (١-١١) نموذج لكتلة الضغط مكونه من قرصين من المطاط بين ثلاثة أقراص من الخشب أو الصلب . القطر الخارجى لقرص المطاط مساوى للقطر الداخلى للمصفاة . الجزء الصلب لكتله الضغط قطرها أقل بواحد بوصة

شكل (٢-١١) كتلة الضغط لتنمية البئر

يمكن استخدام الهواء لدفع الرمال والرواسب خارج البئر فى حالة توفر ضاغط هواء .

إجمـــالى زمـــن التنمية يتراوح ما بين ساعتين للآبار الصغيرة لعدة أيام للآبار الكبـــيرة حيث المصفاة طويلة . تكون نتائج كتلة الضغط غير مرضية فى حالة عندما تحتوى التربة على الطفلة وفى حالة حبيبات التربة مشطوفة وغير مستديرة مع تجنب

التنمية فى حالة وجود مادة الميكا .

نـــوع آخـــر من أدوات الضغط والذى يسمى المساحة (Swab) يستخدم لإزالة المـــواد الرفيعة فى الآبار العميقة المحفورة فى الخزانات الجوفية الصخرية.. وأبسط أنواعها عبارة عن فلنجة من المطاط حيث يتم إنزالها إلى أى نقطة أسفل منسوب خط المياه ثم ترفع لمسافة حوالى ١ متر بدون محاولة لإحداث تأثير ضغط. يجهز المساحة بمحـــبس عـــدم رجـــوع مما يساعد على زيادة سرعة النزول إلى أسفل . يعتبر كتلة الضغط جيدة فى المصافى المركبة فى تربة حيث النفاذية عالية والتوصيل الهيدروليكى عالى .

التنمية بالهواء بالضغط والضخ Air Development By Surging Pumping :

يســـتخدم الهواء المضغوط لتنمية الآبار فى الخزانات الجوفية المتماسكة والغير متماســـكة .. حيث زاد استخدام الهواء المضغوط مع حفر الآبار بالبريمة التى تعمل بـــالهواء المضـــغوط . فـــى الضغط بالهواء يتم حقن الهواء فى البئر لرفع المياه إلى السطح ومع وصول المياه إلى السطح يتم إيقاف حقن الهواء بما يسمح بعامود السقوط . تســـتخدم فى الآبار الكبيرة ماسورة داخل القيسون لحقن الهواء وفى الآبار من ٦ – ١٢" يستخدم الهواء مباشرة فى القيسون شكل (٣-١١) .

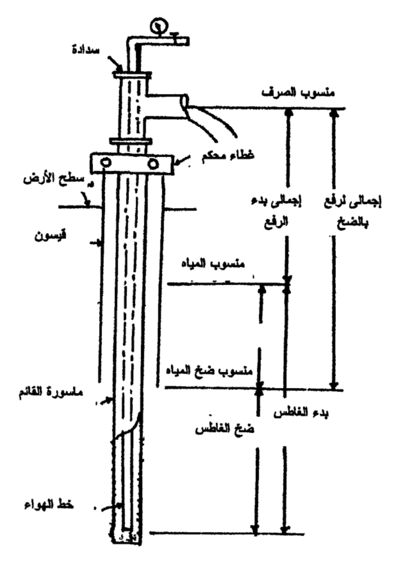
التنمية بالبثق عالى السرعة High Velocity Jetting :

تتم التنمية بالبثق عالى السرعة إما بالماء أو بالهواء وعملياً فإن البثق بالماء يتم فى نفس الوقت بالضخ بالهواء بما يسبب عدم حدوث ترسيبات فى التربة . وتتم عملية البثق بتسليط نافورة من الماء فى الاتجاه الأفقى خلال فتحات المصفاة . وهذه الطريقة ناجحة فى جميع أنواع التربة شكل (٤-١١) .

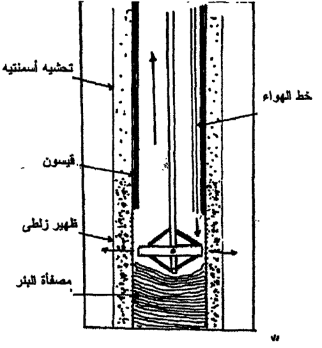
– قد يضاف ملح البولى فوسفيت فى شكل محلول إلى البئر ثم تضاف المياه إلى البـــئر بحيث يدخل المحلول من خلال المصفاة إلى التربة المحيطة وهذه المادة تعمل

علـــى تشتت الأجسام الصغيرة فى التربة بما يسهل من عملية إزالتها . إضافة البولى فوسفيت تتم فى العملية السابقة لعملية التنمية .

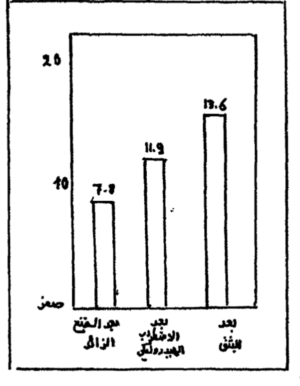
– مقارنة لطرق التنمية وأثرها على متوسط الطاقة النوعية موضحة فى الشكل (٥ -١١) .



شكل (٣-١١) مصطلحات طلمبة الرفع بالهواء



شكل (٤-١١) التنمية ببثق الهواء



شكل (٥-١١) متوسط الطاقة النوعية بعد طرق التنمية المختلفة

٢- جمع وتحليل بيانات إختبار الضخ :

اختبارات الضخ قد تتم لتعيين (١) خصائص كفاءة البئر (٢) المعايير الهيدروليكية للخزان الجوفى . لاختبار كفاءة البئر يتم تسجيل التصرف والانخفاض لإمكان حساب الطاقة النوعية . هذه البيانات تعطى قياس للطاقة الإنتاجية للبئر الذى اكتمل وكذلك توفر المعلومات اللازمة لاختبار الطلمبة . الغرض الثانى من اختبارات الضخ هو توفير البيانات اللازمة لحساب كفاءة الخزان الجوفى ، النقل ومعامل التخزين ، إختبارات الخزان الجوفى تمكن من تقدير (١) تأثير السحب الجديد على الآبار الموجودة (٢) الإنخفاض فى البئر فى الأوقات المستقبلية وعند معدلات ضخ مختلفة (٣) قطر الفتحة المؤثر للبئر أو لعدة آبار .

يتكون اختبار الخزان الجوفى من ضخ بئر بمعدل معين وتسجيل الانخفاض فى البئر وفى آبار الملاحظة القريبة عند أوقات معينة . يوجد نوعين من اختبارات الخزان الجوفى . وهما اختبارات المعدل الثابت واختبارات معدل الانخفاض المتدرج . فى اختبارات المعدل الثابت يتم ضخ البئر بمعدل واحد لمدة زمنية ، بينما فى اختبارات معدل الانخفاض المتدرج يتم ضخ البئر بمعدل متزايد بالتتالى فى أزمنة قصيرة نسبياً .

<u>القياسات المطلوبة لاختبارات كل من البئر والخزان الجوفى تشمل :</u>

- منسوب المياه الاستاتيكى قبل بدء الاختبار مباشرة .
- الوقت عند بدء الضخ .
- معدل الضخ .
- مناسيب الماء الديناميكية (مناسيب الضخ) عند الفترات المختلفة أثناء فترة الضخ .
- الوقت عند أى تغير فى معدل الضخ .
- الوقت عند توقف الضغط .
- قياسات مناسيب المياه بعد توقف الضخ (الاستعادة) تعتبر ذات أهمية بالغة

لاستنتاج معاملات الخزان الجوفى المحسوبة أثناء مرحلة اختبار الضخه .

عمل إختبار الضخ :

اختـبارات الضخ لا توفر بيانات دقيقة إلا إذا تمت بحرص فى تسجيل الوقت، والتصرف وقياسات العمق . يلزم عمل إجراءات قبل اختبار الضخ ، حيث يلزم ضخ البئر لعدة ساعات قبل عمل اختبار الضخ بعدة أيام لتعيين الآتى :

- أقصـــى انخفاض متوقع (فى معظم اختبارات الضخ ، يحدث أكبر جزء من الانخفاض فى الساعات الأولى من الضخ) .
- حجم المياه المنتج عند سرعات الطلمبة المعينة والانخفاض .
- أفضل طريقة لقياس التصرف .
- إذا كان الصرف من البئر يتم بعيداً (فى مواسير) لتجنب الشحن الجوفى .
- فـــى حالـــة وجود آبار ملاحظة لقياس الانخفاض لتوفير بيانات مفيدة لا يتم عمل لختبار الضخ إلا بعد عودة منسوب المياه الاستاتيكى بعد الاختبار الأولى لمدة ٢٤ إلى ٧٢ ساعة .

دقة بيانات الانخفاض أثناء اختبار الضخ تتوقف على الآتى :

- المحافظة على تصرف ثابت أثناء الاختبار .
- أخــذ قــراءات الانخفــاض علـــى فترات زمنية مناسبة وبئر الإنتاج وآبار الملاحظة .
- مقارنة بيانات الانخفاض مع بيانات الاستعادة أثناء جزء من لختبار الضخ.
- فـــى حالة الخزان الجوفى المحصور يستمر الضخ لمدة ٢٤ ساعة ولمدة ٧٢ ساعة فى حالة الخزان الجوفى الغير محصور .
- لقـــياس الـــتدرج فـــى الانخفاض تعتبر ٢٤ ساعة عادة كافية لكل من نوعى الخزانين .

المحافظة على ثبات التصرف :

التغـير فى سرعة الطلمبة يسبب بيانات انخفاض غير دقيقة . يفضل استخدام الطلمبة عند ٥٠ % أو ٦٥ % من أقصى عدد اللفات فى الدقيقة حيث فى هذا المجال تعمل الطلمبة بانتظام منتجة تصرف ثابت . ولتفادى الأخطاء تستخدم الطاقة الكهربية لتشـغيل الطلمبة . مع إمكانية تشغيل الطلمبة ومصدر الطاقة بمعدل ثابت لمدة لا تقل عن ٤٨ ساعة . وفى حالة وجود آبار ملاحظة لا تقل المدة عن عدة أيام .

يـتم مقـياس معدل الضخ بدقة وتسجيله . التحكم فى معدل الضخ أثناء الضخ يتطلـب تجهيز دقيق لقياس التصرف ووسيلة مناسبة لضبط التصرف ليكون ثابت ما أمكـن . لذلك يجهز خط مواسير الصرف بمحبس مفتوح بنسبة ٥٠% أو ٧٥% عند الضخ بالمعدل المطلوب .

الطرق المباشرة للقياس

- الأوعية والعدادات لقياس التصرف للبئر :

الطريقة السهلة والبسيطة لقياس معدل الضخ هو بملاحظة الوقت اللازم لملىء وعاء معلوم الحجم . فمثلاً يلزم ٣٠ ثانية لملىء برميل (٠,٢ متر مكعب) ٥٥ جالون ، يكون معدل الضخ للطلمبة ١١٠ جالون فى الدقيقة (٦٠٠ متر مكعب فى اليوم) . وهـذه الطـريقة مناسـبة فى حالة قياس معدل الضخ المخفض نسبياً . أجهزة قياس تصـرف المـياه يعـتمد عليها فى التصرفات الكبيرة حيث توضح قراءة العداد حجم التصـرف عند وقت الملاحظة . عند طرح قراءتين بفاصل دقيقة واحدة يعطى معدل الضخ فى الدقيقة .

- قياس الانخفاض فى الآبار

يمكـن أخـذ بيانات الانخفاض من بئر الضخ ومن بئر الملاحظة على مسافة مناسبة ولكن قراءات بئر الضخ لا تكون دقيقة لوجود اضطراب بسبب الطلمبة وذلك يتطلب وجود بئر ملاحظة واحد على الأقل ، هذا بالإضافة إلى أن الانخفاض فى بئر

الملاحظة يوفر دقة حساب معامل التخزين بينما بيانات الانتقال يمكن الحصول عليها من بئر الملاحظة أو من بئر الإنتاج .

آبـار الملاحظـة تكـون كبيرة بالقدر الذى يمكن من القياس الدقيق والسريع لمناسيب المياه ولكن الآبار ذات القطر الصغير أفضل نظراً لأن حجم المياه فى الآبار الكبـيرة يمكن أن يسبب فاصل زمنى فى تغيرات الانخفاض . معظم آبار الملاحظة يكـون طول المصفاة فيها من ٣ – ٦ قدم (٠,٩ إلى ١,٨ متر) وإن كانت المصافى الطويلـة أفضل طبقاً لدرجة اختراقها ولكن ليست دائماً بالضرورة . توضع المصافى فـى آبـار الملاحظة على نفس العمق مثل الجزء المتوسط من مصفاة بئر الإنتاج . يـتوقف عدد آبار الملاحظة على كمية المعلومات المطلوبة والتكاليف . البيانات التى تـتوفر بقـياس الانخفاض فى مكان واحد خارج بئر الإنتاج تمكن من حساب متوسط التوصـيل الهيدروليكى ، الانتقال ، معامل التخزين للخزان الجوفى ، وفى حالة عمل أكـثر من بئر ملاحظة على مسافات مختلفة يمكن تحليل بيانات الاختبار بالنسبة لكل مـن العلاقة بين الانخفاض – الوقت ، الانخفاض – المسافة ، استخدام طرق التحليل هذه يوفر تأكيد صحة قيم حسابات الانتقال ومعامل التخزين . من المفضل عمل آبار ملاحظـة كثيرة نظراً لاختلاف التوصيل الهيدروليكى فى كل اتجاه والذى يؤكد وجود آبار الملاحظة فى شكل دائرة حول بئر الإنتاج .

قبل بدء اختبار الضخ يجب عمل برنامج قياسات العمق إلى المياه مقدماً . يلزم عمـل القياسات فى كل الآبار فى نفس الوقت . يتم ضبط الساعات المستخدمة لقياس الوقت لمعرفة الوقت المضبوط بالدقيقة والساعة لكل قراءة عند بدء الضخ . باستخدام أجهـزة القياس التى تعطى نتائج دقيقة وسريعة . يتم قياس الانخفاض فى بئر الضخ وآبـار الملاحظة . لقياس الانخفاض فى بئر الضخ فإن أفضل جهاز للقياس هو الذى يوفـر الإضاءة أو إشارات صوتية عند غمر طرفِ المجس فى الماء . وذلك رغم أن خطوط الهواء يمكن أن توفر الدقة الضرورية .

عند استخدام تجهيزات كهربية يتم قفل الدائرة عند لمس المجس لسطح الماء يتم

توضـــيح ذلـــك بإشارة ضوئية أو عداد قياس شكل (٦ / ١١) . يتم توفير بطاريات إضـــاءة لتوفير التيار . المجسات من شرائط الصلب تعطى نتائج دقيقة فى آبار المياه لعمق حتى ٣٠ متر .

أجهزة القياس المناسبة لقياس الانخفاض هى مقياس الضغط (Pressure Gauges (فـــى آبار الضخ . فى هذه الأجهزة يقاس عمق عامود المياه بالقدم أو بالرطل على البوصة المربعة . الجدول (١-١١) يوضح محاملات التحويلة للقراءات .

جدول (١-١١) التحويلات للقراءات أثناء اختبار الضخ

الوحدة	رطل/بوصة مربعة	قدم ماء	متر ماء	بوصة زئبق	جوى
ارطل / بوصة مربعة	١	٢,٣١	٠,٧٠٤	٢,٠٤	٠,٠٦٨١
١ قدم ماء	٠,٤٣٣	١,٠٠	٠,٣٠٥	٠,٨٨٢	٠,٠٢٩٤٧
١ متر ماء	١,٤٢١	٣,٢٨	١,٠٠	٢,٨٩	٠,٠٩٦٧
١ بوصة زئبق	٠,٤٩١	١,١٣٤	٠,٣٤٥٦	١,٠٠	٠,٠٣٣٤
١ جوى (منسوب سطح البحر)	١٤,٧	٣٣,٩٣	١٠,٣٤	٢٩,٩٢	١,٠٠

الشـــكل (٧ –١١) يوضح ماسورة الهواء لقياس مناسيب المياه فى البئر لتعيين عمـــق الماء . تعمل هذه التجهيزة على مبدأ أن ضغط الهواء اللازم لدفع الماء عمق الجزء المغمور من الماسورة يساوى ضغط عامود الماء عند هذا الارتفاع .

الفـــترات الزمنية لقياس الانخفاض أثناء اختبار معدل الضخ الثابت . يتم ضبط ســـاعات كـــل المراقبين قبل بدء الاختبار ، يتم تسجيل التوقيتات لأقرب ١٠ ثوان . قيـــاسات منســـوب المياه لبئر الضخ يتم تسجيلها فى التوقيتات فى الجدول (٢-١٠) . الانخفـــاض فى آبار الملاحظ يتم قراءته فى الفترات فى الجدول (٣-١٠) وذلك أثناء لختبار الضخ .

جـــدول (٢-١١) الفترات الزمنية لقياس الانخفاض فى بئر الضخ أثناء اختبار الضخ:

الوقت عند بدء أو إيقاف الضخ بالدقائق	الفترات الزمنية بين القياسات بالدقائق
صفر - ١٠	٠,٥ - ١
١٠ - ١٥	١
١٥ - ٦٠	٥
٦٠ - ٣٠٠	٣٠
٣٠٠ - ١٤٤٠	٦٠
١٤٤٠ - نهاية الاختبار	٤٨٠ (٨ ساعات)

جدول (٣-١١) الفترات الزمنية لقياس الانخفاض فى بئر (آبار) الملاحظة أثناء اختبار الضخ :

الوقت عند بدء الضخ أو إيقافه بالدقائق	الفترات الزمنية بين القياسات بالدقائق
صفر - ٦٠	٢
٦٠ - ١٢٠	٥
١٢٠ - ٢٤٠	١٠
٢٤٠ - ٣٦٠	٣٠
٣٦٠ - ١٤٤٠	٦٠
١٤٤٠ - نهاية الاختبار	٤٨ (٨ ساعات)

بيانات الاختبار المبكرة هامة جداً ، يلزم الحصول على معظم البيانات الممكنة فى العشرة دقائق الأولى للضخ لكل بئر ملاحظة . السبب فى ذلك أن قمع الانخفاض الــذى يــتحرك إلى الخارج من البئر قد يقابل عدم تجانس التربة والذى إما يعجل أو يــبطىء الانخفــاض مع زيادة الوقت . اختبارات الضخ المثالية يجب أن تستمر حتى الوصــول إلــى حالــة الاتزان ، أى حتى يستقر قمع الانخفاض . عملياً هذا نادراً ما يحــدث . فــى الخزانات الجوفية المحصورة ينتشر قمع الانخفاض سريعاً. لهذا ٢٤ ســاعة كافية عادة لتوفير البيانات التى يعتمد عليها . للحصول على المعلومات الكافية عــن الخــزان الجوفــى الغــير محصور يلزم ٧٢ ساعة عادة لسحب المياه من قمع

الانخفــاض . وهــذا الوقت يمكن خفضه فى حالة الوصول إلى حالة الاتزان قبل ٧٢ ساعة .

بيانات الاستعادة :

كلمــا أمكــن ذلــك يلزم أخذ بيان الاستعادة لمراجعة دقة بيانات الضخ ، بيان الاستعادة يمكن الاعتماد عليها لعدم حدوث ضخ . قياسات الاستعادة يتم تسجيلها بنفس المعدل كما فى حالة الضخ .

كفاءة البئر : (Well Efficiency)

تعــرف كفاءة البئر بالنسبة ما بين الطاقة النوعية الحقيقية عند تصميم تصرف البــئر بعــد ٢٤ ســاعة من الضخ المستمر ، أقصى طاقة نوعية ممكنة محسوبة من خصــائص التربة وهندسة البئر . وفى هذه الطريقة لتعريف الكفاءة ، يمكن التعرف علــى الفقــد فى الضغط بسبب التربة وبسبب إنشاء البئر الذى يسببه للخزان الجوفى وتركيب المصفاة والظهير الزلطى .

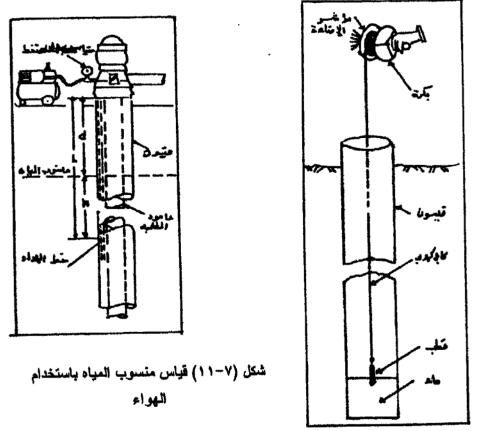
طريقة حساب كفاءة البئر كالآتى :

- مخطط بيانات الوقت – الانخفاض
- يتم حساب ΔS (الانخفاض بين توقيتين على المنحنى اللوغريتمى) .
- عند وقت محدد ، لاحظ الانخفاض فى بئر الملاحظة .
- وقــع الانخفاض على مخطط المسافة – الانخفاض لبئر الملاحظة (لوقت معين) على المسافة المناسبة من بئر الضخ .
- أكمل منحنى الانخفاض باستخدام ميل ضعف ΔS (فى المعادلة :
- $\text{Log } r2 = 2 \text{ Log } r$ ولــذا فإن قيمة ΔS فى مخطط المسافة – الانخفاض هى ضعف قيمة ΔS فى مخطط الوقت – الانخفاض) .
- يتم امتداد ميل البيانات إلى نصف قطر البئر .
- فى حالة كفاءة البئر ١٠٠ % فإن الانخفاض خارج قطر الحفر مباشرة يجب أن يســاوى الانخفاض داخل البئر ، ولكن كثيراً ما يحدث عادة أن يكون منسوب

المـــياه داخل البئر أكثر انخفاضاً . لذلك فإن الكفاءة تساوى الانخفاض خارج قطر الحفر مقسوماً على الانخفاض داخل قيسون البئر مضروباً فى ١٠٠ .

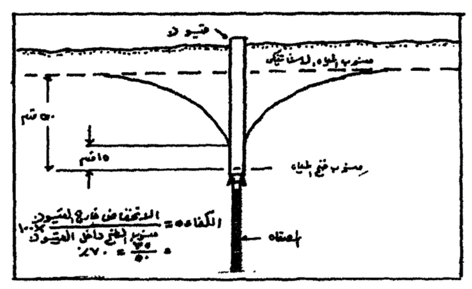
- يمكن الحصول على كفاءة من ٧٠ إلى ٨٠% للبئر عادة فى حالة التصميم الجيد وكذلك فى الإنشاء والتنمية الجيدة للبئر .

مثال لحساب الكفاءة موضح فى الشكل (٨ –١١) .



شكل (٧–١١) قياس منسوب المياه باستخدام الهواء

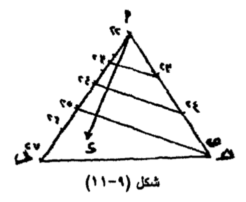
شكل (٦–١١) قياس عمق الماء بالطريقة الكهربائية



شكل (٨-١١) حساب كفاءة البئر الحقيقة لبئر له طاقة عالية (High Capacity)

تحديد اتجاه حركة المياه الجوفية الحرة :

يستعان فى تحديد اتجاه حركة المياه الجوفية الحرة برصد مناسيب سطح المياه الجوفية من داخل ثلاث آبار تشكل رءوس مثلث أ ب جـ كما هو موضح فى الشكل(٩-١١) . بفرض أن منسوب خط المياه الجوفية من سطح الأرض هو ٢٢ ، ٢٧ ، ٢٥ وذلـك داخـل الآبار أ ، ب ، جـ بالتتالى . أى أن أعلا منسوب للمياه الجوفية هو فى البـئر أ يلـيه البئر ب يليه البئر جـ . عندئذ فإن المياه الجوفية ستتحرك من المنسوب الأعلـى إلى الأقل أى سيكون تحرك المياه الجوفية فى اتجاه الخط أ – ء أى عمودى على خطوط تساوى المنسوب .



شكل (٩-١١)

٣- الصيانة والاصلاح للبئر :

إصـــلاح البئر يعنى استعادة كفاءته بطرق المعالجة المختلفة أو بإعادة الإنشاء كما فى حالة استبدال المصفاة . الصيانة المخططة للتغلب على مشاكل معينة يمكن أن تحافظ على كفاءة البئر وزيادة فترة استخدامه .

تبنى خطة الصيانة على البيانات الأولية عند الإنشاء مثل الظروف الجيولوجية نوعية المياه وكفاءة الضخ وخاصة الطاقة النوعية . كما يمكن الاستعانة ببيانات الآبار التى تعمل فى نفس المنطقة لعمل خطة الصيانة والإصلاح. توجد متغيرات كثيرة حيث لا يوجــد برنامج واحد مناسب لكل أنواع الآبار وكل الظروف الهيدرولوجية . يجب وضـــع نظام للتفتيش والصيانة طبقاً لخصائص البئر والطلمبة ، مع ملاحظة أى تغير فـــى خصـــائص التشغيل للبئر والطلمبة ، حيث أن كليهما يمكن أن يحدث له تلف بما يجعل عملية الإصلاح صعبة وإن لم تكن مستحيلة . ولقد أظهرت الخبرة أنه فى حالة انخفاض الطاقة النوعية للبئر بنسبة ٢٥% يكون هو الوقت المناسب فى بدء الإصلاح، حيث ما بعد ذلك يزيد من تكاليف الصيانة والإصلاح .

البيانات التالية تستخدم لتقييم كفاءة البئر :

- منسوب المياه الاستاتيكى
- معدل الضخ بعد زمن معين من بدء الضخ
- منسوب الضخ للمياه بعد زمن معين من بدء الضخ
- الطاقة النوعية
- المحتوى من الرمال
- العمق الكلى للبئر
- كفاءة البئر
- معدل الضخ الطبيعى وعدد ساعات التشغيل خلال اليوم
- منسوب المياه فى الآبار المجاورة
- الانخفاض فى البئر عند الضخ من الآبار المجاورة

أى تغـــير واضح فى أى من السبع حالات الأولى يبين أهمية ملاحظة البئر أو الطلمبة . فمثلاً انخفاض الطاقة النوعية يمكن أن يكون بسبب انسداد فتحات المصفاة .

يتم عمل اختبارات ضخ البئر وتسجيلها ومقارنتها بالبيانات الأصلية للتقييم .

يجب عمل سجل كامل للبئر للمساعدة فى عمل الإصلاح والصيانة .

الجـــدول (٤-١١) يبيـــن معظـــم مشاكل الآبار فى الخزانات الجوفية المختلفة وفترات الإصلاح اللازمة لحالات المشاكل التى تحدث عادة فى الآبار فى أنواع التربة للخزانات الجوفية وفترات الصيانة المطلوبة هى كالآتى :

جدول (٤-١١) مشاكل الآبار فى أنواع التربة المختلفة وفترات الصيانة اللازمة

نوع الخزان الجوفى	معظم المشاكل الشائعة فى الآبار	الصيانة الشائعة وفترات عملها
طفلية، طمى، رمل Alluvial	ترسـيبات علـى المصـفاةى من الطفل والطمـى والحديـد والـرمال وترسيبات بيولوجية، تلف القيسون .	٢ – ٥ سنوات
الحجر الرملى	انســداد ، تلف القيسون ، ضخ الرمال ، التآكل .	٦ – ١٠ سنوات
الحجر الجيرى	الانسداد بترسيبات الحجر الجيرى والطفلة والطمى .	٦ – ١٢ سنة
الـــتربة الرســـوبية المتماسكة	انســداد بــالحديد ومــواد أخرى إنتاجية منخفضة ومتوسطة .	٦ – ٨ سنوات
تربة تحويلية	إنتاجــية أولــية منخفضة، إنسداد بالطفل والطمى ومواد أخرى .	١٢ – ١٥ سنة
تربة رسوبية متماسكة وشبه متماسكة .	ترسـيبات علـى المصفاة من الطفلة والطمى والـرمال والـزلط . وكذلك انسداد الفتحات الموصـلة للمياه فى الحجر الجيرى بواسطة الـزلط والرمال والطفلة والطمى ، تراكمات بيولوجية ، ترسيبات الحديد .	٥ – ٨ سنوات

لهـذا فـإن مشـاكل الآبـار فى أنواع التربة المختلفة تظهر فى فترات زمنية متوسطة ما بين ٢ – ٦ سنوات فى معظم الحالات .

الأسباب الرئيسية لخفض كفاءة البئر :

المشاكل المألوفة التى تحدث للآبار مع مرور الوقت هى :

- الخفض فى إنتاجية البئر :

يـرجع انخفاض إنتاجية البئر بسبب الترسيبات الكيماوية أو البيولوجية لمصفاة البئر ومسام التربة حول مصفاة البئر .

- تلف المصفاة وتغير حالة التربة المحيطة بها .
- الخفـض فى خط المياه الاستاتيكى بسبب ظروف مناخية أو التداخل مع آبار مجاورة .
- استمرار الضخ مع عدم وصول المياه بالكمية اللازمة أى خفض الانتقال .
- انسـداد مسام التربة حول المصفاة حيث تنخفض الطاقة النوعية بنسبة ١٠ – ٢٠%
- ضخ الرمال .
- انهيار القيسون و / أو المصفاة .
- تلف الطلمبة

١ – الترسيبات المسببة لأعطال البئر ترجع للأسباب الآتية :

- ترسيبات كربونات الكالسيوم والمغنسيوم أو كبريتات الكالسيوم والمغنسيوم .
- ترسيبات مركبات الحديد والمنجنيز وأساساً الأيدروكسيدات أو الأكاسيد المائية الانسداد يسبب البكتريا المؤكسدة للحديد أو أنواع البكتريا الأخرى .

أ – أسباب ترسيب الكربونات :

الترسيب الكيماوى ينتج منه ترسيب الكربونات وأساساً كربونات الكالسيوم من المـياه الجوفية قريباً من مصفاة البئر . بعض المواد الأخرى مثل سيليكات الألومنيوم ومركبات الحديد يمكن أن تحتجز فى المواد الكربونية حيث تعمل على التصاق حبيبات

الـــرمل وتماســكها حـــول المصفاة . هذه الترسيبات تملأ الفراغات بما يسبب خفض تدفقـــات المياه إلى البئر . والسبب فى حدوث ذلك هو مع ضخ البئر ينخفض الضغط الهيدروســـتاتيكى فى الأجزاء السفلى للتكوينات الحاملة للمياه . ونتيجة خفض الضغط يتحرر بعضاً من ثانى أكسيد الكربون من الماء . عند حدوث ذلك فإن جزء من أملاح الكربونات لا تحملها المياه وترسب لكونها غير مذابة .

ترســـيب كـــربونات الكالســـيوم هـــو نتـــيجة تحرر ثانى أكسيد الكربون من البيكربونات المذابة عند خفض الضغط

$$CaCO_3 \downarrow + CO_2 \uparrow + H_2O \xrightarrow{-\Delta e} Ca(HCO_3)_2$$

إذابـــة بيكربونات الكالسيوم ١٣٠٠ ملجرام/ لتر وإذابة كربونات الكالسيوم ١٣ ملجـــرام/ لـــتر . يتسرب ثانى أكسيد الكربون عند انخفاض الضغط . أما بيكربونات المغنســـيوم فإنهـــا تـــتحول إلى كربونات المغنسيوم بنفس الطريقة . ولكن نظراً لأن كـــربونات المغنســـيوم تذوب فى الماء عند تركيز ٥٠٠٠ ملجرام/ لتر فإن الترسيب يحدث فقط عند زيادة تركيزها عن هذا الحد .

حـــالات وجود أملاح البيكربونات للكالسيوم والمغنسيوم هى بسبب وجود ثانى أكســـيد الكـــربون الناتج عن التحلل اللاهوائى للمواد العضوية فى التربة والذى يحول الأمـــلاح في الصخور من الحجر الجيرى والدولوميت إلى مركبات البيكربونات من الكالسيوم والمغنسيوم التى تذوب فى الماء .

ب – أسباب ترسيبات الحديد والمنجنيز .

كثيراً من الصخور تحتوى على الحديد والمنجنيز وهى المصدر لأيونات الحديد والمنجنيز الموجود فى المياه الجوفية فى حالة وصول الرقم الهدروجينى إلى ٥ أو أقل . عـــند الضـــخ فإن التغير فى الضغط الناتج عن السرعة يغير فى الاتزان الكيميائى للمـــياه الجوفـــية بما ينتج عنه ترسيب أيدروكسيد الحديد والمنجنيز الغير مذاب . هذه الأيدروكســـيدات لهـــا قوام جيلاتينى وتشغل حجم أكبر نسبياً . مع الوقت فإنها تجف وترسب. الحديد المذاب يتأثر بالضغط المنخفض كما فى المعادلة .

$Fe(HCO_3)_2 \xrightarrow{-\Delta e} Fe(OH)_2 \downarrow + 2CO_2 \uparrow$. إذابـــة أيدروكســـيد الحديـــدوز ٢٠ ملجرام / لتر . فى حالة وجود الأكسجين بالتهوية أثناء الضخ يحدث ترسيب إضافى لأيدروكسيد الحديديك .

$$4Fe(OH)_2 + 2H_2O + O_2 \rightarrow 4Fe(OH)_3 \uparrow$$

إزابة أيدروكسيد الحديديك أقل من ٠,٠١ ملجرام / لتر .

المنجنيز المذاب يتحول إلى غير مذاب بنفس الطريقة مثل الحديد .

$$2Mn(HCO_3)_2 + O_2 + 2H_2O \rightarrow 2Mn(OH)_4 + 4CO_2 \uparrow$$

الأكسدة التالية لأيدروكسيدات الحديد والمنجنيز أو الزيادة فى الرقم الهيدروجينى تسبب تكون الأكاسيد المائية المحتوية على هذه الأيونات . كمثال فإن الحديدوز المذاب يمكن أن يتفاعل مع الأكسجين مكوناً أكسيد الحديديك .

$$2Fe^{++} + 4HCO_3 + H_2O + O_2 \rightarrow Fe_2O_3 + 4CO_2 + 3H_2O$$

أكســـيد الحديديك راسب أحمر بنى يشبه الصدأ ، بينما أكسيد الحديدوز المائى عـــبارة عن راسب أسود . أكسيد المنجنيز الغير مذاب هو كذلك أسود أو بنى غامق . توجـــد ترســـيبات الحديد والمنجنيز عادة مع رواسب الكالسيوم والمغنسيوم . فى قمع الانخفـــاض حـــول البئر فى الخزان الجوفى الغير محصور ، يدخل الهواء فى مسام الـــتربة ويؤكسد الحديد فى سطح المياه الملتصقة بحبيبات الرمال . فى حالة التشغيل المتقطع للطلمبة يمكن أن تتكون طبقة من أكسيد الحديد بما يقلل من الفراغات فى مسام التربة فى هذا الجزء من التكوينات ، وهذا يقلل من السعة التخزينية للتربة القريبة من البئر وذلك يجعل قمع الانخفاض يتسع بسرعة

معالجة ومنع مشاكل الترسيبات :

توجد عدة إجراءات تعمل على تعطيل تكون الترسيبات والإقلال من مخاطرها وهى :

- يـــتم تصـــميم مصفاة البئر لتكون ذات مساحة دخول أكبر ما يمكن من خفض سرعة دخول المياه إلى المصفاة إلى أقل ما يمكن .

- تتم التنمية الجيدة للبئر .
- معدل الضخ يقل وزمن الضخ يزداد بما يقلل من سرعة دخول المياه .
- احتياجات الضخ تقسم بين عدد كبير من الطلمبات ذات القطر الصغير بدلاً من الحصول على كمية المياه من بئر ضخم قطره كبير .
- عمـــل خطة للصيانة والنظافة الدورية لكل بئر عند وجود حالات مشابهة من الترسيبات فى الموقع .

معالجة الآبار بالأحماض :

يمكـــن إزلة الترسيبات بمعالجة الآبار بحامض قوى . محلول الحامض القوى يذيـــب مواد الترسيبات حيث يمكن ضخها خارج البئر . الأحماض المستخدمة لصيانة الآبـــار هـــى حـــامض الهيدروكلوريك (HCL) وحامض السلفاميك (Sulphamic Acid - H_3NO_3S).

حامض الهيدروكلوريك :

حـــامض الهـــيدروكلوريك هـــو واحد من أكثر الأحماض إزالة للرواسب من الأمـــلاح المعدنـــية . حـــامض الهـــيدروكلوريك هـــو عبارة عن إذابة غاز كلوريد الهيدروجيـــن فى الماء ولونه يميل إلى اللون الأصفر . ويوجد تجارياً بتركيز ٢٨ إلى ٣١ % كلوريـــد الهيدروجين (يعادل ١٨ – ٢٠ درجة بومى) . يستخدم مثبط للتآكل مـــع استخدام الحامض لخفض تأثير التآكل للحامض على معدن المصفاة والقيسون ، ومكونات الطلمبة.

يتم عادة إدخال الحامض إلى مصفاة البئر من على سطح الأرض خلال ماسورة بلاستيك أو حديدية ذات قطر صغير . يفضل استخدام كمية من الحامض تساوى كمية المياه فى المصفاة مضافاً إليها من ٥٠ إلى ١٠٠ % لوصول الحامض إلى التربة حول المصفاة . كمية الحامض المستخدم فى الآبار ذات الأقطار الكبيرة والصغيرة موضحة فى الجدول (٥-١١) .

جـدول (٥-١١) كمـية الحـامض المسـتخدم فى الآبار ذات الأقطار الكبيرة والصغيرة

قطر المصفاة		كمية حامض الهيدروكلوريك (١٨-٢٠ بومى) لكل قدم (٣٠ سم) من طول المصفاة باللتر
بالبوصة	بالمليمتر	
١,٥	٣٨	٠,٤٢ - ٠,٥٣
٢	٥١	٠,٧٦ - ٠,٩١
٢,٥	٦٤	١,٢٥ - ١,٤٨
٣,٠	٧٦	١,٧٤ - ٢,١٢
٣,٥	٨٢	٢,٣٨ - ٢,٨٤
٤,٠	١٠٢	٣,٧ - ٣,٧١
٤,٥	١١٤	٣,٩٤ - ٤,٧٣
٥	١٢٧	٤,٨٤ - ٥,٧٩
٥,٥	١٤٠	٥,٨٣ - ٧,٠٠
٦	١٥٢	٦,٩٦ - ٨,٣٦
٨	٢٠٣	١٢,٣ - ١٨,٤
١٠	٢٥٤	١٩,٣ - ٢٣,٢
١٢	٣٠٥	٢٧,٨ - ٣٣,٤
١٤	٣٥٦	٣٧,٩ - ٤٥,٤
١٦	٤٠٦	٤٩,٤ - ٥٩,٤
٢٠	٥٠٨	٧٧,٢ - ٩٢,٧
٢٤	٦١٠	٩٣,٥ - ١١٢

حامض السلفاميك.

حامض السلفاميك مادة حبيبية بيضاء جافة ينتج عنها حامض قوى عند خلطها بالمـاء . إذابتها فى الماء تزداد بارتفاع درجة ، تتراوح ما بين ٥ إلى ٢٠ % بالوزن عند درجات حرارة المياه الجوفية . رغم أن حامض السلفاميك مكلف أكثر من حامض

الهـيدروكلوريك إلا أنـه أقل فى العدوانية . وهذا الحامض له عدة مزايا ، فى الحالة الجافـة يمكن تداوله بأمان ، المادة الجافة لا تنتج أبخرة ولا تحدث مشاكل فى الجلد . عـند الخلـط بالمـاء يتم تداوله كأى حامض آخر بما يتطلب الحذر . عند المعالجة تتصاعد أبخرة بمعدل بطىء نسبياً نظراً لبطء إزابة الحامض وهذه الأبخرة خطرة مما يتطلب عمل إجراءات التهوية . تنخفض احتمالات التآكل للمصفاة والقيسون والطلمبة عـند إضـافة مثبط للتآكل مع حامض السلفاميك . يوجد حامض السلفاميك فى شكل أقـراص ، حبيـبات ، بودرة . تستخدم أقراص الحامض فى الآبار المجهزة بمصفاة قصيرة نسبياً موضوعة فى قاع البئر . نظراً لأن الحبيبات أثقل من الماء فإنها ترسب فى القاع ثم تذوب فى المصفاة . تذوب الحبيبات خلال حوالى ٤ ساعات فى حالة عدم حـدوث تشبع . يزداد إذابة الحامض بتقليب الماء فى المصفاة . تتحدد كمية الحامض لمعالجـة البـئر إمـا طبقاً لقطر كمية ٣٠ % من وزن الماء فى مصفاة البئر حيث استخدام حبيبات الحامض للمصافى صغيرة وكبيرة القطر للمصفاة الأقل من ٣٠ متر فى الطول . كما تستخدم حبيبات الحامض فى الآبار العميقة حيث تذوب أثناء تحركها نحو المصفاة بما يتطلب إضافة مياه نظيفة لدفع الحامض نحو التربة. فى حالة الآبار العميقة يفضل عمل محلول من أقراص أو حبيبات الحامض ويتم إنزاله خلال ماسورة السـحب للبـئر . يستخـدم محلول بتركيز ١٠% ويفضل أن يكون التركيز ٣٠% . حـامض السـلفاميك مفيد فى معالجة الترسيبات من الكالسيوم والمغنسيوم ولكنه قليل التأثـير بالنسبة للحديد والمنجنيز أما فى حالة الملح الصخرى بنسبة ١ كيلو جرام لكل ٥ كـيلو جرام حامض يكون الحامض فى هذه الحالة قادر على إزالة ترسيبات الحديد والمنجنـيز . تفـاعلات حامض السلفاميك مع الأملاح المعدنية مثل تفاعلات حامض الهـيدروكلوريك ولكن يبطئ جداً بما يتطلب التقليب أثناء الإذابة وبعدها . يلزم زمن ١٥ ساعة على الأقل للحصول على نتائج الإزابة . كما يلزم التقليب القوى قبل سحب الحامض إلى الصرف .

يجـب عدم حدوث لبس بين حامض السلفاميك وحامض الكبريتيك حيث الأخير

يتفاعل مع الكالسيوم مكوناً كبريتات الكالسيوم التى تحدث انسداد للمصفاة هذا بالإضافة إلى أن حامض الكبريتيك شديد العدوانية مما يعرض المصفاة والقيسون للتآكل .

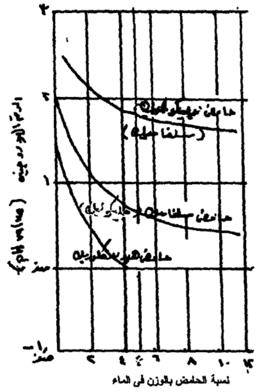
جدول (٦-١١) كمية حامض السلفاميك اللازمة لمعالجة الانسداد فى مصفاة البئر

قطر الماسورة		سعة الماسورة	كمية الحامض اللازمة
بوصة	مليمتر	لتر / متر طولى	كيلوجرام / متر طولى
٤	١٠٢	٨,٧	٢,٤
٥	١٢٧	١٢,٤	٣,٩
٦	١٥٢	١٨,٦	٥,٥
٨	٢٠٣	٣٢,٣	٩,٧
١٠	٢٥٤	٥٠,٩	١٥,٢
١٢	٣٠٥	٧٣,٢	٢١,٩
١٤	٣٥٦	٩٩,٣	٢٩,٨
١٦	٤٠٦	١٢٩	٣٨,٩
١٨	٤٥٧	١٦٤	٤٩,٢
٢٠	٥٠٨	٢٠٢	٦٠,٨
٢٢	٥٥٩	٢٤٦	٧٣,٦
٢٤	٦١٠	٢٩٢	٨٧,٥
٢٨	٧١١	٣٩٧	١١٩
٣٠	٤٦٢	٤٥٥	١٣٧
٣٢	٨١٣	٥١٩	١٥٦
٣٤	٨٦٤	٥٨٦	١٧٦

هيدروكسـى أسـيتيك أسيد Hydroxy acetic Acid يمكن تسميته كذلك أيدروكسيد حـامض الخليك ويسمى كذلك حامض الجلايكوليك (Glycolic Acid) . وهذا الحامض سـائل لحامض عضوى يتوفر بنسبة تركيز ٧٠ % . ورغم أنه غير شائع الاستعمال مثل حامض الهيدروكلوريك والسلفاميك إلا أن استخدامه أعطى نتائج باهرة فى معالجة الآبـار. وهـو حامض آمن عند الاستعمال نظراً لأنه غير عدوانى نسبياً وينتج عنه

أدخـــنة قلـــيلة جداً. بالإضافة إلى قدرته فى إذابة الترسيبات من الأملاح المعدنية فإن حامض الجليكوليك له ميزة أخرى تتفوق على الحامضين الآخرين وهى أنه قاتل جيد للبكـــتريا ولذلك فهو مؤثر فى معالجة الآبار التى تعانى من مشاكل البكتريا المؤكسدة للحديـــد لذلك فهو قاتل للبكتريا ومذيب لكل الرواسب من الحديد وغير الحديد . ميزة أخرى لهذا الحامض وهو أنه حامض حاضن أى له القدرة على الالتفاف حول أيونات المعـــادن مـــثل الحديـــد والكالســـيوم والمغنسيوم وهو ما يسمى (Chelating Agent / Sequestering) وهـــذا يعنى أن الترسيبات المذابة بواسطة الحامض تظل فى المحلول خـــلال كـــل مـــرحلة المعالجـــة . جليكولـــيك أســـيد أضعف من أحماض السلفاميك الهـــيدروكلوريك ممـــا يتطلب زمن التصاق أكبر لتحقيق الإزالة للترسيبات . يوضع حـــامض الهيدروكســـى أســـيتيك أســـيد بـــنفس الطـــريقة الـــتى يوضع بها حامض الهيدروكلوريك فى البئر حيث يستخدم حوالى ٣,٨ لتر من الحاض بتركيز ٧٠ % لكل ٦٠ لتر من الماء فى المصفاة .

سرعة إزالة الحامض للترسيبات تتوقف على الرقم الهيدروجينى للحامض (قوة الحـــامض) . الشـــكل (٩-١١) يبيـــن كيف أن الرقم الهيدروجينى يتغير مع التركيز للأحمـــاض المذكورة . يلاحظ أن حامض الهيدروكلوريك لديه أدنى رقم هيدروجينى ولذلـــك فـــإن تأثـــير أداؤه أسرع بينما حامض الجليكوليك لديه أعلى رقم هيدروجينى ولذلك سيكون أداؤه أبطأ عن باقى الأحماض .



شكل (٩-١١) أحماض مختلفة بتركز واحد تعطى محاليل ذات رقم هيدروجين مختلف

استخدام الأحماض فى معالجة الآبار :

يجب الحذر عند وضع الحامض السائل فى البئر حيث يلزم أن يقوم بهذا العمل أفراد مدربون على صيانة الآبار . عند استخدام أحماض سائلة يجب أن يرتدى العمال نظارات واقية وملابس واقية . كذلك يستخدم جهاز تنفس لتنقية الهواء يرتديه العاملين والأفـراد المجاوريـن أثـناء العمل . كل أحواض الخلط وطلمبات الضخ والمواسير المسـتخدمة تكـون من البلاستيك أو الحديد الاسود لتقليل تفاعلات الحامض . يجب توفير كمية كبيرة من المياه أو خزان مياه به محلول بيكربونات الصوديومم لمواجهة احـتمالات الحـوادث . توفير التهوية المناسبة حيث أن الغازات المتصاعدة من البئر خطيرة .

إدخال سائل الحامض إلى البئر خلال ماسورة ذات قطر صغير . فى حالة زيادة طول المصفاة عن ١,٥ متر يتم إضافة الحامض السائل على ١,٥ متر السفلى للمصفاة

ثم ترفع الماسورة وتملأ ١,٥ متر التالية من المصفاة ويستمر العمل بهذه الطريقة حتى تمـــام ملـــئ المصفاة بالحامض السائل .عند وضع حبيبات الحامض فى القيسون فإنها تستقر فى المصفاة حيث تذوب . عند وضع المسحوق من الحامض فإنه يذوب خلال عامود الماء فى البئر . بعد وضع الحامض فى البئر (أو إذابة حبيبات الحامض). يتم وضـــع كمية من المياه تساوى كمية الماء فى المصفاة وذلك لدفع محلول الحامض فى مصفاة البئر خلال فتحات المصفاة إلى التربة المحيطة بالمصفاة . يتم استخدام بعض طـــرق التقليـــب مـــثل كتلة الاضطراب (surge Block) عند وجود الحامض فى البئر للمساعدة فى تفتيت الترسيبات وتحسين الكفاءه الكلية للعملية . هذه الخطوة مهمه حيث أنها تعرض الترسيبات للحامض بما يؤكد أقصى إزالة .

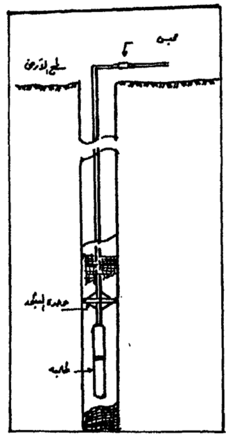
إستخدام كتلة الإضطراب أو أدوات (gettig) تعتبر طرق مؤثرة فى التقليب للبئر زمن التقليب يتوقف على كمية الرواسب فى البئر . فى حالة إستخدام كتلة الإضطراب فإن عملية الإضطراب والتقليب تدفع بالحامض إلى التربة وبالمواد المفتتة إلى المصفاة . فى عملية البثق يتم أولا وضع الحامض فى البئر ثم يتم بثق المصفاة بمياه نظيفة من الســـطح أو باستخدام المياه الحامضية من البئر شكل (١٠-١١) . يلزم الحرص دائما عند استخدام الحامض فى عمليات إصلاح البئر .

مـــنطقة التربة الممتده حول مصفاة البئر قد تكون مقفلة المسام جزئيا أو كليا . ولذلك فلا يجب الافتراض أن محلول الحامض سيتحرك فى كل مكان إلى الخارج فى مسام التربة وخلال كل السمك .

يوصى باستخدام عوامل الإحتضان (chelating Agents) فى حالة وجود رواسب الحديد والمنجنيز وفى حالة الرقم الهيدروجينى لمحلول المعالجة حوالى ٣أو أقل . عند هـــذا الـــرقم الهيدروجيـــنى فـــإن هذه الكتايونات ترسب بما يؤثر على فعالية محلول المعالجة . مواد الاحتضان هى أحماض السيتريك والفوسفوريك والترتريك المستعملة فـــى هـــذه الحالات يستخدم ١,٨ كيلوجرام من حامض الأحتضان إلى كل ٤ لتر من حامض الهيدروكلوريك تركيز ٣٠%(٢٠ درجه يومى) ويضـاف ١ كيلو جرام لكل

٧ كيلو جرام من حامض السلفاميك .

بعد عملية التقليب الميكانيكى يترك المحلول فى البئر ليتفاعل مع مواد الترسيب حــتى وصول الرقم الهيدروجينى إلى ٦,٥- ٧ ثم التقليب ثانيا والضخ إلى الصرف . الزمــن الــلازم لاتمــام التفاعل يتغير ما بين عده ساعات حتى ١٥ ساعة طبقا لنوع الحامض المستخدم وكمية المواد المرسبة . بهدف خفض الصرف يتم معادلة المياه فى البئر عند الضرورة قبل صرفها من البئر أو بصرف مياه البئر خلال إناء مملوء بكسر الحجر الجيرى (أو المحروق) . وقد يتم صرف المياه الحامضيه فى تربة رملية بعيد جــدا عــن صرف البئر . فى بعض الحالات يتم تنمية البئر بعد المعالجة الكيميائية . يمكــن إزالة الأجسام الصلبة مع الرواسب التى دخلت المنطقة المحيطة بالمصفاة بعد بــدء تشــغيل البــئر . فى كثير من الحالات فإن التنمية المؤثرة للآبار القديمة التى عولجت بالكيماويات تحقق طاقة نوعية تساوى أو تزيد عن الطاقة النوعية الأصلية . يفضل فى كثير من الحالات إستخدام الطرق الميكانيكية لإزالة الترسيبات المسببة لقفل فــتحات المصفاة قبل استخدام محلول الحامض بهدف الحد من استهلاك الأحماض . حيث تستخدم فرشاه من السلك أو أى وسيلة لإزالة الترسيبات داخل فتحات المصفاة .



شكل (١٠-١١) يمكن عمل البثق باستخدام طلمبة بثق فى البئر وباستخدام المياه الحامضية وذلك لتجنب خطورة عملية فتح الحامض عند السطح

الطرق الكيميائية للقضاء على بكتريا الحديد :

فـى حالـة نمـو بكتريا الحديد فى البئر فإنه يمكن إيقافها بالمعالجة الكيميائية وبعض الطرق الأخرى . وتعتبر المعالجة الكيميائية الأكثر تأثيرا والأقل فى التكلفة . ولكـن المعالجة الكيميائية تحتاج إلى تقليب المياه فى البئر . وتتم عملية التقليب بالبثق بالمـاء أو الهـواء أو باستخدام كتلة الإضطراب الهيدروليكى . الكيماويات يمكن أن تؤكسد أو تحرق المواد العضوية . الأكسده تعتبر الطريقة العادية لقتل البكتريا وكذلك تفكك الرواسب الناتجة عنها .

الكلور: يستخدم الكلور بتركيز ٥٠ ملجرام /لتر فى تطهير البئر والمواسير بعد

الأنشـــاء أولا صــــلاح أو إنشاء الطلمبة . بينما تستخدم جرعة من الكلور بتركز من ٥٠٠إلـــى ٢٠٠٠ ملجرام /لتر لمعالجة البئر إذا كان الإنسداد بفعل البكتريا . ويمكن الحصـــول علـــى تركـــيز ٥٠٠ملجرام /لتر بإذابة ٠,٢كيلو جرام من غاز الكلور فى مـــتر مكعب ماء . التعبير بصدمة الكلور تعنى محلول الكلور بتركيز ١٠٠٠ ملجرام /لـــتر أو أكـــثر . الجدول (٦-١١) يوضح كميات مواد الكلور اللزمة للحصول على مختلف تركيزات الكلور .

جـــدول (٦-١١) كميه مواد الكلور اللزمة للحصول على تركيز الكلور فى٣,٨ متر مكعب ماء

التركيز ملجرام /لتر	محلول هيبوكلوريت الصوديوم بتركيز				حبيبات هيبوكلوريت الكالسيوم تركيز ٦٥% كلور بالجرام
	٣%	٥%	١٠%	١٢,٥%	
٥٠	٦,٤	٣,٨٥	١,٩	١,٥	٠,٣
١٠٠	١٢,٥	٧,٦	٣,٨	٣,٠٠	٠,٦
٥٠٠	٦٣,٢	٣٧,٩	١٨,٩	١٥,١	٢,٩
١٠٠٠	١٢٦,٠	٧٥,٧	٣٧,٩	٣٠,٣	٥,٨

اســـتخدام غاز الكلور المذاب بشكل خطوره على العاملين نظرا لأنه إستنشاقة قـــاتل وأن يمكـــن اســـتخدامة بجـــرعات حـــتى ٥٠ملجرام /لتر . وأكثر شيوعا هو هيبوكلوريت الصوديوم وهيبوكلوريت الكالسيوم نظرا لقلة خطورتة على العاملين .يتم إدخال محلول الهيبو كلوريت بواسطة ماسورة من البلاستك بنفس الطريقة المستخدمة فـــى إنـــزال الحـــامض. وتلائم هذه الطريقة الآبار الصغيره .أما فى حالة الآبارذات الإنـــتاج الكبـــير لا مكان قتل بكتريا الحديد والتى قد تتحوصل فى الرواسب يتم عمل الأتى :

- ♦ حقن محلول الحامض ومثبط التأكل وقد يضاف عامل إحتقان مثل جليكوليك أسيد .
- ♦ يتم تقليب المحلول بآداه تقليب أو .

- يتم الضخ لصرف حجم من المياه يساوى المياه الموجودة فى البئر .
- يــتم قــياس الــرقم الهيدروجينى للصرف . إذا كان أكبر من ٣ يعاد تنفيذ الخطــوات مــن ١-٣ (رقم هيدروجينى ٣ أو أقل يؤكد أن الحديد المذاب يظل فى المحلول) .
- يــتم حقن محلول الكلور مع مادة المنظفات الصناعية (Surfactant) محلول الكلور يكون حوالى ١% (١٠٠٠٠جزء فى المليون).
- يتم تقليب المحلول بتجهيزة بثق (getting)
- يتم الضخ إلى الصرف حجم محلول يساوى حجم فتحة البئر .
- عين تركيز الكلور فى حالة نقص التركيز بنسبة أقل من ١٠% من التركيز الأصلى تعاد الخطوات ٥-٧
- تعين الطاقة النوعية للبئر

البولى فوسفيت ومؤثرات السطح : (polyphosphatesAndsurfactants)

الطفلــة والطمــى مواد تلتصق بشده بعضها مع بعض فى حالة . لزجة والذى يجعــل إزالــتها من الرمل والزلط فى حالة وجودهما فى تربة الخزان الجوفى عملية صعبة . الآبار التى يحدث لها إنسداد بحبيبات الطفل والطمى يمكن إستعذذاده كفاءتها بالمعالجــة بمعــامل إحتضان (chelating Agent) والتى هى مركبات البولى فوستيت . وهــذه المركــبات لها القدرة على فصل حبيبات الطفلة . كما يمكن جعلها تتنافر مع بعضها باستخدام مواد (Dispersing agents) بما يجعلها تتحرك مع ضخ المياه من البئر أثــناء عملية التنمية . هذا بالإضافة فإن أيونات الكالسيوم والمغنسيوم والحديد تلتصق بالأجســام الصغيرة التى تظل فى الحالة المذابة باستخدام البولى فوسفيت . استخدمت أمــلاح الــبولى فوســفيت البيضاء بنجاح فى معالجة الآبار عند انسدادها بالطمى . المستخدم عادة هو (sodum Hexametaphosphate) فى إصلاح الآبار وهو زجاجى.

يســتخدم فى معالجة الآبار ٦,٥ كجم من البولى فوسفيت مع الخلط بــ ٠,٤م٣ مــن الماء، الدافئ على سطح الأرض فى إناء صغير ثم يتم التخفيف بكمية كبيرة من

المـــاء . ثــم تــتم الكلوره ١٢٥ ملجرام /لتر . يتم وضع المحلول فى البئر باستخدام ماســورة تغذيـــة . وفى حالة وضع البولى فوسفيت مباشرة فى البئر فإنه يكون ماده جيلاتينـــية لا تــذوب بسرعة وقد تسبب إنسداد . من المهم وضع الكلور مع حمض البولى فوسفيت وذلك لقتل البكتريا التى تتغذى على البولى فوسفيت ، حيث يضاف٠,٧ كـــيلوجرام من هيبوكلوريت الكالسيوم لكل ٣,٨ م٣ مكعب من الماء فى البئر . يعتبر تقليب المياه فى البئر عامل هام فى إنجاح عملية المعالجة . كما يوصى بإضافة منظف صناعى يتركز ٢٥٠ ملجرام /لتر (بدون رغوة) لزيادة تشتته البولى فوسفيت .

تلف البئر يسبب التآكل :

نتيجة التآكل تحدث التلفيات الآتية

- إتســـاع فتحات المصفاة أو حدوث ثقوب فى القيسون بما ينتج عن ذلك من ضخ للرمال
- ضعف قوة المصفاة أو القيسون وتلفهما
- حدوث ترسيبات من نواتج التأكل حيث تنخفض إنتاجية البئر .

تلوث المياه عند حدوث تأكل للقيسون ولذلك يوصى باستخدام معدن المصفاة أو القيســـون من معادن مقاومة للتآكل مثل الصلب المقاوم ٣٠٤ وقد تستخدم مادة خاملة مثل البى فى سى على أن تحقق القوة اللازمة لإنشاءات البئر .

الفصل الثانى عشر

الإستخدمات البديلة للآبار ومصافى الآبار

١٢

إن الهدف الرئيسى من هذا المرجع هو الحصول على مياه للشرب من اللآبار العمودية . تستخدم تصميمات أخرى للآبار وإنشائها للحصول على المياه الجوفية فمثلا سرب الترشيح (tnfiltration Galleries) الذى يتكون من مصفاة أفقية أو أكثر من مصفاة يمكـــن أن تقوم مقام الآبار الراسبة فى بعض التكوينات الجيولجية حيث سمك الطبقة المشـــبعة صـــغير جـــدا . وفى حالات آحرى يحدث تسرب لمياه البحر فى المناطق الســـاحلية حيث يمكن التحكم فى ذلك يوضع آبار الحقن . قد تحدث مشاكل بيئية فى بعض الحالات كما يحدث عند سحب المياه الجوفية لأغراض الإنشاء حيث يؤثر ذلك علـــى إنتاجية الآبار القريبة الضحله . وسينم تناول بعض من هذه الاستخدمات البديلة للآبار ومصافى الآبار

سحب المياه الجوفية : Dewatering

تصمم آبار سحب المياه الجوفية أساسا لخفض منسوب المياه الجوفية إلى عمق منســـوب معين والمحافظة على هذا العمق حتى تمام تنفيذ الأنشاءات تحت الارض . وبعد أن كانت عملية سحب المياه المؤقفة أو طويلة الأجل تتم بهدف أعمال الانشاءات للمبانى والطرق والأنفاق ، الانشاءات تحت الأرض عموما . حاليا تزال كميات كبيرة مـــن المـــياه الجوفـــية الملوثـــة محليا وتعالج كجزء من برنامج إستعادة نوعية المياه الجوفية. والأغراض الرئيسية لأعمال سحب المياه الجوفية تشمل :

- حجز التسرب التى يمكن أن يدخل موقع الجفر وإعاقة عمليات الإنشاء
- تحسين ثبات الميول وبذلك إيقاف الوحل وتهدم الميول
- منع قاع الحفر من الانتفاخ والارتفاع بسبب زيادة الضغط الهيدروليكى .
- تحسين خاصية التماسك للتربة فى قاع الحفر لأعمال الرصف والإنشاءات .

تعيين خصائص الخزان الجوفى :

يجـــب تعييـــن معامل التخزين ومعامل الانتقال للخزان الجوفى وذلك لأن حجم المياه الجوفية فى المساحة اللازم سحب المياه منها والمعدل الذى يمكن سحب المياه به

همـــا العاملين الهامين لتصميم نظام البئر . وهذين العاملين يمكن حسابهم على أساس إختبار الضخ بمعدل ثابت .

فى حالة عدم إمكان تنفيذ معاملات التخزين فإنه يمكن تقديرها للخزانات الجوفية الغـــير محصورة بقيمة تتراوح ما بين ٠,٠١ إلى ٠,٣ وللخزانات المحصورة ما بين ١٠^-٥ إلى١٠^-٣ وفى حالة الخزان الجوفى الغير محصور والتربة ذات حبيبات خشنه فـــإن معامل التخزين المستخدم عادة هو ٠,٢ فى حالة وجود مواد طفليه أو طمى قد تكـــون كمية المياه فى المسام كبيرة ولكن حجم المياهالحقيقى المسحوب يكون صغيرا مقارنة بالتربة ذات الحبيبات الكبيرة . وفى حالة الخزانات الجوفية المحصورة يفترض معـــامل التخزيـــن ١٠^-٥ للـــتربة من الحجر الرملى أو الحجر الطفلى رقيقة الحبيبات وتكون ١٠^-٣ للحجر الرملى النظيف حيث الحبيبات الخشنة (الكبيرة) .

المســـحب المؤثر للتربة ذات الحبيبات الرقيقة بتطلب وقت أكبروفواصل قريبة بين الآبار يسب إنخفاض الانتقال . عمليا يتم سحب المياه فقط لزيادة الكثافة بما يجعل الـــتربة ثابـــتة. يلزم وجود بعض مياه الخاصيه الشعرية فى المسام لربط أو للامساك لحبيبات التربة بعضها البعض .

معادلات سحب المياه الجوفية Dewatering Eguations

عملـــيا فـــإن حجـــم المـــياه المطلوب إزالتة قبل الإنشاء هو المخزون فى قمع الأنخفـــاض المحـــدد ولهـــذا فإنـــه يتم ضخ الآبار باستمرار لسحب التغذية إلى قمع الأنخفـــاض وفـــى معظـــم الحـــالات يكـــون معدل الضخ أعلى من اللازم لاستمرار الانخفـــاض . حجـــم المياه المطلوب ضخها من خزان غير محصور للحصول على إنخفاض معين مقيم طبقا للمعادلة .

$$Q = \frac{K(H^2 - h^2)}{0.733 \text{ Log } R/r}$$

حيث :

Q = السحب متر مكعب فى اليوم .

K = التوصيل الهيدروليكى متر فى اليوم .

H = السمك المشبع للخزان الجوفى قبل الضخ بالمتر .

h = عمق المياه فى البئر عند الضخ بالمتر .

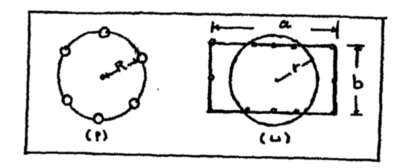
R = نصف قطر قمع الانخفاض بالمتر .

r = نصف قطر البئر بالمتر .

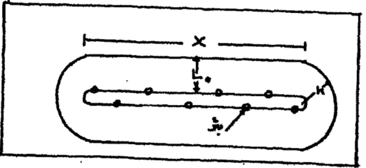
الانخفاض (S) عند أى نقطة خلال القمع يعين بالمعادلة

$$S = \frac{0.366\ Q\ Log\ R/r}{Kb}$$

المعـــادلات الســـابقة قابلة للتطبيق فى حالات حيث سحب المياه يتم فى مساحة مقـــربة فـــى شكل مربع أو دائرة وحيث يفضل عدد من الآبار الضحلة عن بئر واحد عميق .



شـــكل (١-١٢) الدائرة فى الشكل (أ) تتكون من عدة آبار ضحلة منتجه لانخفاض يســـاوى مـــا تحقـــيقه بئر عميق واحد الشكل (ب) حيث سحب المياه من المساحة المستطيلة ممكن أن يتم بواسطة عدة آبار فى محيط دائرة أو فى محيط مستطيل



كل (٢٢-١٢) تنظيمى آبار السحب للمياه الجوفية

اســتخدام المعادلــة $r = \sqrt{\frac{a\,b}{\Pi}}$ يعطى نتائج جيدة عند وجود الآبار قريبة من بعضــها وعــندما يكون القطر المؤثر (R) أكبر كثيراً من (r) وكذلك عندما تكون النسبة أقل من ١,٥ شكل (١-١٢) .

معظــم أعمال سحب المياه تتم على خط أو خندق شكل (٢-١٢) . ولذلك فإن التدفق يكون من مصدر خطى أو خندق . فى حالة الخزان الجوفى الغير محسور فإن الصرف من أحد أجناب الخندق لوحدة الطول طبقاً للمعادلة :

$$\frac{Q}{2} = \frac{K(H^2 - h^2)}{2\,Lo}$$

حيث :

X = طول الخندق بالمتر

Lo = المسافة بين النقطة ذات أكبر إنخفاض إلى النقطة حيث لا يوجد إنخفاض بالمتر .

فى حالة الخندق حيث الطول لانهائى فإن حجم المياه الازم ضخه يمكن حسابه بالمعادلة :

$$Q = \frac{K(H^2 - h^2)}{0.733 \log R/r} + 2\frac{X\,K(H^2 - h^2)}{2\,Lo}$$

عملــياً فإن سحب المياه يتقدم على امتداد الخندق مع تجهيز الحفر . ولذلك فإن كل بئر يجب أن يكون قادراً على ضخ أكبر حجم ممكن عندما يكون البئر عند أى من نهاية المساحة الجارى سحب المياه منها .

العوامل التى تراعى عند إختيار نظام سحب المياه إما بإستخدام الآبار العميقة أو بإستخدام الحراب الآبار الصغيرة (نظام الحراب) / تشمل الظروف الهيدرولوجية ، ظــروف الموقع ، زمن الضخ فى الموقع وحجم المياه المطلوب سحبها بالإضافة إلى إمكانية إقامة معدات الضخ فى موقع الإنشاء ومدى توفر معدات الحفر وسحب المياه . كمــا يســتعان بالمعلومــات عن هيدروليكا البئر ونظريات تدفق المياه الجوفية . هذه

المعلومات تمكن من إستخدام أقل عدد من الآبار مع أقل معدل ضخ وعمق للآبار .

سحب المياه بنقط الآبار [نظام الحراب]

Well Point Dewatering System

نظـــام مجموعات نقط الآبار ذات الآبار القريبة من بعضها تكون عادة متصلة بماسورة رئيسية(Header pipe) ، ويكون الضخ مع الرفع .حفر خنادق مواسير الصرف الصـــحى وخطوط المياه الرئيسية وأعمال الحفر للأساسات تتم فى تربة مشبعة أسفل منســـوب خط المياه الإستاتيكى . فى معظم الحالات يكون إستخدام الحراب فى سحب المياه أقل تكلفة من إحاطة الحفر بحائط مستمر من الدعائم الحديدية (Sheet Piling) ثم الضـــخ فـــى منطقة العمل . خفض منسوب المياه الجوفية يضخ بنظام الحراب قرب الحفـــر ليسمح العمل بالمعدات الثقيلة حتى فى المناطق المشبعة مسبقاً . السحب الجيد للمياه لا يعمل على فوران المياه الذى قد يحدث فى قاع الحفر . نظم الحراب تستخدم عـــادة بسبب سهولة إنشائها ويمكن تنفيذها فى ظروف الموقع المختلفة . وهى مناسبة خاصة فى الحالات التالية

. ســـحب المياه بالمرحلة الواحدة حيث منسوب الضخ فى حدود السحب والرفع (منسوب خط المياه الإستاتيكى أقل من ٦,٥ متر)

. التربة تكون ذات إنتقال منخفض (الرمال الناعمة والطفلة)

. التربة الحاملة ضحلة وأسفلها طبقة صماء .

أثناء التشغيل لنظام الحراب ، تقوم طلمبة مركزية برفع المياه من كل بئر وذلك بإنتاج خفض جزئى فى الضغط (تفريغ) فى الماسورة الرئيسية وماسورة السحب . الإنخفـــاض الجزئى فى الضغط أو السحب والرفع الذى يمكن للطلمبة المحافظة عليه يحـــدد الإنخفاض الذى يمكن الحصول عليه فى التربة الحاملة للمياه . أقصى إنخفاض هو الفرق بين خط المياه الإستاتيكى ومنسوب السحب (Suction Head) شكل (٣-١٢)

. الطلمبة ذات خاصية السحب الجيدة يتم إستخدامها لتحقيق أقصى إنخفاض .

من الناحية العملية أقصى سحب ورفع يمكن تحقيقه بإستخدام الحراب هو ٥ متر

(وقــد يصــل إلى ٦-٦,٥ متر) ولكن التصميم يبنى على ٥ متر فقط . التصرف من التربة الناعمة يكون منخفض دائماً ولكن إزالة ولو حجم صغير من المياه سيعمل على تثبيت التربة فى حالات كثيرة .

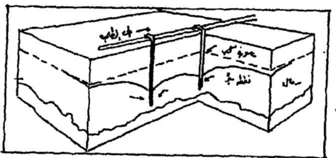
قطــر الحــربة المســتخدم فى سحب المياه يكون عادة من ٠,٥ إلى ٢ بوصة والتصرف يكون من ٥٤,٥ إلى ١٣٦ متر مكعب فى اليوم ويكون الفاصل من ١ إلى ٣,٥ مــتر . ونظــراً لتغــير الظــروف من مكان إلى آخر فإنه يلزم عمل التجارب للحصــول على أقصى إنخفاض ، ولذلك لتحديد الفاصل بين الحراب حيث أن قطرها عادة يكون ثابت بالنسبة لأى مقاول وكذلك طول وقطر المصفاة والماسورة .

عمل قمع الإنخفاض المناسب :

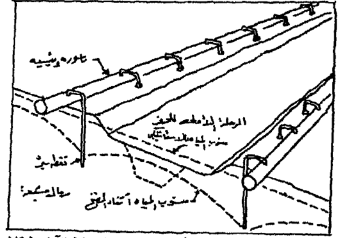
خفــض منسوب المياه الجوفية فى موقع الإنشاء يتطلب عمل تداخل فى أقماع الإنخفــاض بالضــخ بــنظام نقط الآبار شكل (٣-١٢) . لذلك تكون الآبار قريبة من بعضــها . يظل منسوب المياه كما هو موضح فى الشكل طالما كان الضخ مستمراً . المــياه تتسرب بالجاذبية من التربة فوق خط المياه الذى إنخفض ، ويمكن عمل الحفر فى أى مكان خلال قمع الإنخفاض المركب (المتداخل) . السحب الكامل للمياه من قمع الإنخفــاض المركــب يحدث بعد الضخ ، وأقصى إنخفاض فى التربة المشبعة حول الحــراب يتحقق بعد عدة ساعات ولذلك يلزم وقت إضافى للتسرب الرأسي للمياه من الــتربة المشبعة . عملياً فإن الزمن الازم لإستمرار الضخ بنظام الحراب يكون يوم أو أكثر قبل بدء الحفر .

يمكــن التغلــب كذلك على حدود المقطع الرأسى باستخدام نظامين منفصلين أو أكــثر فــى مراحل متتالية . نظام المرحلة الأولى ينشأ كما فى الشكل (٤-١٢) وعند ضــخها فــإن منسوب خط المياه ينخفض بما يسمح بالحفر لعدة أقدام أسفل خط المياه الأصلى . عندئذ يمكن إنشاء المرحلة الثانية عند المستوى المنخفض كما فى الشكل (٥-١٢) . ماســورة الســحب الرئيسية للحربة وطلمبات المرحلة الثانية عندئذ تخفض منســوب المياه بما يمكن من تكملة الحفر . يمكن إضافة مراحل تالية عند الحاجة إلى

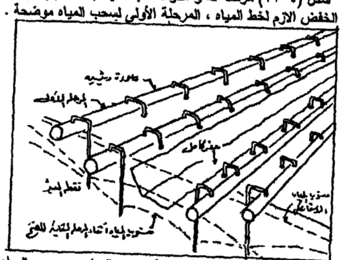
سحب المياه إلى عمق أكبر .



شكل (٣-١٢) تداخل متبادل لبئرين أو أكثر يخفض منسوب المياه فى عمليات سحب المياه .



شكل (٤-١٢) مرحلة ـ و أكثر لسحب المياه بنقط الآبار طبقا لمبسوب الخفض الازم لخط المياه ، المرحلة الأولى لسحب المياه موضحة .



شكل (١٢/٥) يمكن بدء المرحلة الثانية لسحب المياه بعد سحب المياه للمرحلة الأولى وحفرها . عندئذ يتم خفض خط المياه إلى المنسوب المطلوب عند فتح المرحلة الثانية

ضــخ المرحلة الثانية قد يسحب المياه من التربة حول الحراب للمرحلة الأولى فــى حالــة حــدوث ذلك يوقف تشغيل المرحلة الأولى . عندئذ يمكن إستخدام حراب المرحلة الأولى للمرحلة الثالثة أو الرابعة حيث يتم إقامتها بعد إزالة المرحلة السفلى . وفى مراحل السحب العادية يكون سحب المياه من كل مرحلة بعمق ٣ إلى ٣,٧ متر .

عــند حفــر الخــندق فإنه يجب التأكد أن الحفر الجارى تنفيذه يكون جافاً وأن المساحات المستقبلية للحفر يكون تم سحب المياه منها وذلك عند وصول معدات الحفر إليها . طول الحراب قد يكون ٤-٨ أضعاف التقدم اليومى . يوجد ثلاث نماذج لسحب المياه بإستخدام الحراب كما فى الشكل (٦-١٢) لمختلف الحالات أسفل سطح التربة . وجــود طبقة ناعمة من الطفلة أو الطمى على أعماق مختلفة فى التربة المشبعة يعقد نظــام الحــراب وذلك لأن هذه الطبقات تمنع التسرب الرأسى للتربة أعلاها حتى ولو كانــت هذه الطبقات رفيعة وبسمك حوالى واحد بوصة فإنها ستكون غير منفذة للمياه تقريباً .

الســحب المتتالى للمياه من التربة المتماسكة يتطلب سحب المياه من كل طبقة رملــية علــى حــده . يلزم إستخدام نظامين للحراب عندما تكون طبقتين من الرمال المشــبعة بيــنهما فاصــل من تربة من الطمى . فى هذه الحالة يوضع مجموعة من الحــراب أعلا طبقة الطمى مخترقة طبقة الرمال المشبعة العليا والمجموعة الثانية يتم إختراقها إلى أسفل من العمق المطلوب مخترقة طبقة الطمى الغير نفاذة وطبقة الرمال المشبعة أسفلها حتى العمق المحدود .

عمق سحب المياه ووضع الحراب : Depth of Setting

العمق الذى توضع عنده الحراب لسحب المياه يتحدد بثلاث عوامل : (١) أقصى عمــق مقــترح للحفر (٢) وجود طفل أو طمى عند هذا العمق (٣) وجود مواد غير مسامية وسمكها . يتم وضع الحراب إلى عمق أبعد بحوالى واحد متر عن عمق الحفر وذلــك فى حالة إمتداد التربة الحاملة للمياه أسفل عمق الحفر . فى حالة إستخدام خط واحد فقط من الحراب لحفر خندق يتم وضع نهايات الحراب أسفل منسوب الحفر بعمق

١,٢ متر أو أكثر إذا سمحت الظروف بذلك .

فى كثير من مواقع الإنشاء تستخدم الآبار العميقة ذات الإنتاجية العالية بدلاً من الحراب .

شكل (٦-١٢) سحب المياه من الخندق الحراب وارتشاح الرمال

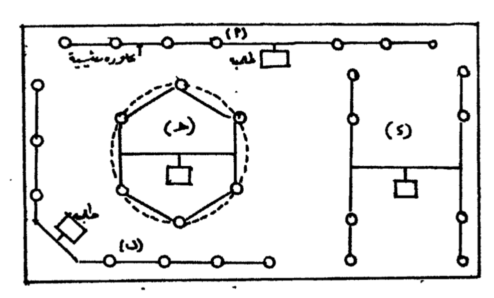
(أ) يمكن سحب المياه من الرمال المتجانسة بالحراب على جانب واحد

(ب) وجود طبقة طمى فوق منسوب الضخ قد يتطلب مصفاة لإرتشاح الرمال على الجانب الآخر لتلقى المياه العلوية .

(ج) الطفلة عند وأسفل منسوب الضخ وضع الحراب جزئياً فى الطمى على جانبى الخندق .

إستخدام الحراب فى الإمداد بالمياه :

بغــرض الإمداد بالمياه فإن وضع نظام الآبار المتعددة يمكن أن يكون فى أحد الأشــكال الموضحة فى الشكل (٧-١٢) .وضع الآبار على محيط الدائرة يوفر أقصى طاقــة هيدروليكية بينما أقلها عند الوضع على خط مستقيم . كما يفضل وجود فاصل بين الآبار حيث يحدث تطابق بسيط فى دائرة التأثير أو لا يحدث تطابق . الفاصل بين الآبــار لمسافة من ٧ متر إلى ١٥ متر كافى جداً . يمكن تقريب الفواصل فى حالات التربة ذات الرمال الناعمة أو الخزانات الجوفية ذات السمك الصغير أو حيث لا يزيد الإنخفاض عن ١,٥ متر . تزداد الفواصل عن ١٥ متر فى حالة العمق وسمك الخزان الجوفى يسمح بإنشاء مصافى الآبار بطول ٣ متر أو أكثر .



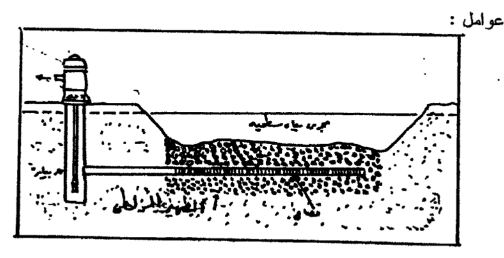
شكل (٧-١٢) يمكن إستخدام أشكال مختلفة لنظام نقط الآبار للعمل فى الإمداد بالمياه . الوضع المركزى للطلمبة يساوى بين السحب والرفع .

مصافى التجميع الافقية Infilteration Gallaries :

فــى بعض التكوينات الجيولوجية يكون سمك الخزان الجوفى غير كافى لتوفير الحجــم المطلــوب مــن المياه للآبار الرأسية ، حتى ولو كان الخزان الجوفى متصل هيدروليكــياً بمصــدر تغذية سطحى قريب .كمثال عند وجود طبقة صغيرة من المياه

العذبـــة فـــوق المياه المالحة . الآبار العميقة فى هذه الحالة سوف تسبب إرتفاع المياه المالحـــة فـــى شـــكل مخروط (Upconing) بما يفسد نوعية المياه . فى هذه الظروف الجيولوجـــية فإن مصافى التجميع التى تتكون من واحدة أو أكثر من المصافى الأفقية يمكـــن وضعها فى التربة ذات النفاذية إما قريباً من مصدر المياه أو أسفله . فى هذه الحالة يمكن ضخ كمية كبيرة من المياه حيث أن التوصيل الهيدروليكى للمادة الطبيعية والتحشـــية حـــول المصفاة مرتفعة بما يجعل التغذية تساوى معدل الضخ . نظراً لأن المصفاة موضوعة فى حفر مكشوف فإن الحدود العملية للعمق محدود فهو حوالى ٧,٦ متر . المياه الداخلة للمصفاة تجمع عادة فى بيارة (Sump) تنشأ أسفل نهاية المصافى . البـــيارة الكبـــيرة يمكـــن أن تعمل كغرفة تخزين فى حالة إنخفاض معدل التصرف . توضح طلمبة المأخذ فى البيارة شكل (٨-١٢). فى حالة المعدل العالى للتصرف فإن توصـــيل طلمبة الطرد المركزى بالمصفاة يلغى الحاجة إلى البيارة . سوف يتم تناول التصـــميمات الـــتى تعتمد على التدفق المستديم من مصدر سطحى قريب .. التصميم وعملـــيات الإنشـــاء هى نفسها التى تتم لمصفاة تجميع فى منطقة رواسب ذات نفاذية عالية والتى يستمر تغذيتها من مياه الأمطار .

قـــرار إنشاء مصافى التجميع قريباً من أو أسفل المياه السطحية يعتمد على عدة عوامل :



شكل (٨-١٢) مقطع لطلمبة فى بيارة مصافى تجميع المياه .

مطالب الإنتاج : مصافى التجميع أسفل مصدر المياه تنتج ضعف تلك الموجودة بجوار المصــدر . وبعــد إستقرار الترسيبات فى المصدر (بحيرة أو نهر) فإن قيمة الإنــتقال تــنخفض بســبب وجود وتسرب حبيبات الرمال الدقيقة فى التحشية الزلطية المحيطة بالمصفاة .

نوعــية المياه : مصافى المياه القريبة من مصدر المياه عادة تكون مياهها أقل عكارة وأقل محتوى من البكتريا عن تلك الموضوعة أسفل المصدر وذلك بسبب زيادة الترشيح للمياه .

صــعوبة الإنشــاء : مــن الصعب إنشاء مصافى تجميع أسفل المصدر المائى وكذلك يصعب صيانتها بسبب التراكم المستمر للمواد العالقة التى تحملها المياه .

ثــبات المجرى المائى أو منسوب البحيرة : المجرى المائى قد يغير إتجاهه لمسافات كبيرة فى زمن قصير وبذا إما يحمل المصافى المحملة على الركام أو تغطيتها كلية بطــبقات قلــيلة النفاذية . فمثلاً نرى أن الضغط ينخفض بشكل كبير فى المجارى المائــية التى تعمل بالمناوبات وذلك فى فصل الجفاف من العام ولكن التدفق خلال الطبقات السفلى من الرمال والزلط عادة يكون مستمر .

مبادئ التصميم :

معظم قواعد التصميم للمصافى الأفقية لتجميع المياه تشمل توجيه المصفاة طبقاً لإتجــاه تدفــق المــياه السطحية أو المياه الجوفية . فى حالة المصافى المدفونة أسفل المجــرى المائى فإنها توجه عمودى على إتجاه تدفق المياه فى المجرى المائى أما فى حالة المصافى الموضوعة على جسر المصدر المائى فإنها توضع عمودية على إتجاه تدفــق المــياه الجوفية لخفض الفقد فى الضغط أى أن المصفاة توضع موازية لإتجاه سريان المياه فى المصدر المائى (النهر) .

القواعد التصميمية الهامة امصافى التجميع الأفقية تشمل :

. سرعة دخول المياه خلال فتحات المصافى لا تزيد عن ٣ سم / الثانية .

. السرعة المحورية داخل المصفاة تكون ٩٠ سم/الثانية أو أقل بما يخفض الفقد

فى الضغط ليكون ٣٠ سم أو أقل .

تستخدم المعادلة التالية لتعيين السرعة :

$$V = V = \frac{1.6 X 10^{-5} Q}{X r^2}$$

حيث :

V = السرعة متر فى الثانية

Q = الإنتاج متر مكعب فى اليوم

R = قطر المصفاة بالمتر

- يعيـن قطـر فتحة المصفاة طبقاً لتوزيع حبيبات الظهير الزلطى حيث تكون نسبة الحجز ١٠٠% .
- تعين مساحة الترشيح لمادة التحشية الزلطية على أساس دخول المياه لطبقة التحشية الزلطـية بمعدل ٣٠٠ متر مكعب فى اليوم لكل متر مربع من المساحة السطحية ، عادة التوصيل الهيدروليكى للظهير الزلطى تكون أكبر بكثير .
- مادة الظهير الزلطى (Filter Back) تشابه فى تصميمها المستخدمة فى الآبار الرأسية مع ضرب ٦-٧ فى ٧٠% الحجم المحتجز .

تصميم مصافى التجميع الافقية أسفل المصدر المائى

(Bed mounted Infilteration Gallaries)

الشـكل (٩-١٢) يوضح حالات وضع المصافى أسفل المصدر المائى وتشمل القواعد التصميمية لهذه الحالة الآتى :

- عمق المصفاة يكون من ٠,٩ إلى ١,٥ متر أسفل قاع المجرى . كما يوجد ٣٠ سم ظهير زلطى أسفل المصفاة .
- الفواصـل بيـن المصافى تكون فى حدود ٣متر تقريباً . الشكل (١٠-١١) يوضح الأبعاد المقترحة لوضع المصافى .
- يتم إختيار المجرى المائى لتكون سرعة المياه لا تقل عن ٣٠ سم فى الثانية لخفض

الترسيبات على سطح المصافى .

- فــى حالة حمل كبير غلى القاع بسبب الثقل المائى ، يتم توجيه مصفاة واحدة ناحية الشاطئ وليس فى المجرى الرئيسى ما أمكن .
- توضع المصافى فى المساحات المستقيمة للمجرى المائى وليس قرب الإنحناءات .

المعادلة التالية تستخدم لتعيين طول المصفاة الازمة فى المجرى أو بحيرة

$$L = \frac{0.366\,Q \log\left(\frac{1.1\,d}{r}\right)}{0.25\,K\,H}$$

حيث :

L = طول المصفاة بالمتر

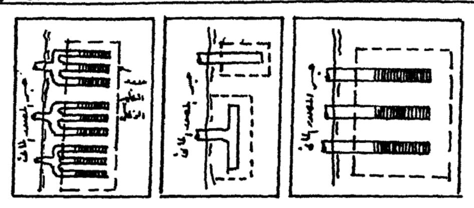
K = التوصيل الهيدروليكى للظهير الزلطى متر فى اليوم

H = المسافة بين سطح المجرى المائى ومركز المصفاة بالمتر .

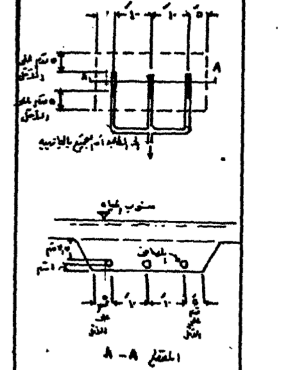
يمكن استخدام هذه المعادلة لعدة مصافى بفواصل ٣ متر .

مــن الخــبرات السابقة للذين طبقوا هذا النظام فى تجميع المياه تبين أن التدفق الحقــيقى مــن المجارى المائية والبحيرات يتراوح ما بين ٠,٥ إلى ٣ متر مكعب فى اليوم لكل متر مربع لكل متر فقد فى الضغط . عموماً يكون معدل التجميع عالى عندما يكون ميل المجرى المائى حاد وقاع المجرى من تربة خشنة . معدل التجميع من قاع البحــيرة يكون منخفض مع الوقت مقارنة بالمجرى المائى إلا فى حالة وجود أمواج شديدة مع عدم حدوث ترسيبات من مواد ناعمة . المصافى والظهير الزلطى قد تصبح غــير منفذة للمياه جزئياً مع مرور الوقت . ولهذا ولتوفير التدفق المستمر فإن مساحة المســام فــى المصفاة يجب أن تكون ضعف المساحة المطلوبة أى أن طول المصفاة يتضاعف وبذلك تتضاعف مساحة دخول المياه .

قد يكون الغسيل العكسى (Back Washing) لازم فى بعض نظم مصافى التجميع ويتم الغسيل العكسى إما بالجاذبية أو بنظام المواسير والمحابس حيث يستمر الضخ من عدة مصافى بينما يجرى الغسيل فى الأخرى بالهواء .



شكل (٩-١٢) أوضاع المصافى فى حالة التجمع أسفل قاع المصدر المائى



شكل (١٠-١٢) مواصفات الفواصل والعمق لمصافى التجميع

وضع مصافى التجميع بمحازاة شاطئ المصدر المائى :

فـــى حالة وضع المصافى قريباً من المجرى المائى شكل (١١-١٢) . توضع مصـــفاة واحدة موازية للجسر أو الشاطئ . عمق وضع المصفاة لا يقل عن ١,٢ متر أسفل منسوب المياه الإستاتيكى ولا يزيد عن ٧,٦ متر . كل المياه الداخلة إلى مصفاة

التجمـــيع تـــأتى من جانب واحد للمصفاة ، ولذلك فإن معادلة تدفق المياه إلى المصفاة هى:

$$Q = \frac{KL\,(D^2 - d^2)}{2\,ro}$$

حيث :

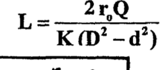
K = التوصيل النوعى للرواسب بالمتر فى اليوم

D = عمق الحفرة أسفل منسوب المياه الإستاتيكى بالمتر

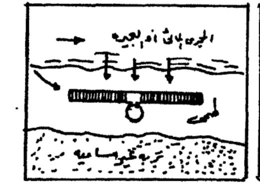
d = المياه فوق قاع الحفر أثناء التشغيل بالمتر

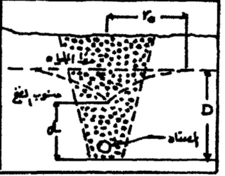
r_o = المسافة إلى النقطة حيث لا إنخفاض بالمتر

المعادلة لتعيين طول المصفاة المطلوبة (L)



$$L = \frac{2\,r_o Q}{K\,(D^2 - d^2)}$$





شكل (١١-١٢) وضع المصفاة وعناصر معادلة التصرف

المسافة إلى حيث لا يوجد إنخفاض تتم بإختبارات الضخ بإستخدام مجموعة من آبار الملاحظة موضوعة فى إتجاه المصدر المائى وعمودى عليه .

التصـــميم لمصافى التجميع الموضوعة فى تربة مسامية ليست مرتبطة بمصدر مـــائى سطحى . يكون حجم التدفق الذى يدخل المصفاة الموضوعة عمودياً على إتجاه التدفق يمكن حسابه بالمعادلة

$$Q = \frac{KA(h_1 - h_2)}{L}$$

حيث:

A = مقطع الخندق بالمتر المربع

$\frac{h_1 - h_2}{L}$ = التدرج الهيدروليكى (Hydraulic Gradient)

يمكن حصر ٧٠ – ٧٥ من التدفق .

فى حالة وجود مياه مالحة يكون من المهم حساب أقصى إنخفاض مناسب بما لا يسمح بدخول المياه المالحة إلى المصافى شكل (١٢-١٢). يمكن تعيين الإنخفاض من المعادلة

$$h_s = \frac{P_t h_t}{P_s P_t}$$

حيث :

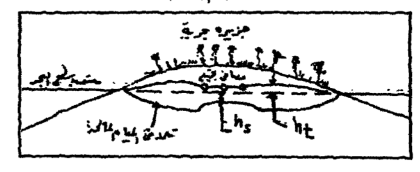
h_s = المســـافة أسفل متوسط منسوب سطح البحر عند المياه العذبة وتلاقيها مع المياه المالحة .

h_t = المسافة من خط المياه الإستاتيكى إلى متوسط منسوب سطح البحر .

P_s = كثافة المياه المالحة (١,٠٢٥ جرام / سم^3)

P_t = كثافة المياه العذبة (١ جرام / سم^3)

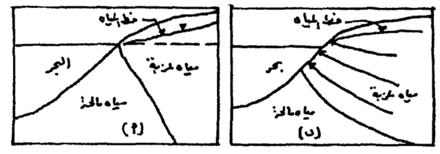
العلاقة بين h_t , h_s ستكون $h_s = \frac{١,٠}{١,٠٢٥ - ١} h_t = ٤٠ \times h_t$



شكل (١٢-١٢) الجزيرة حيث تلاقى بين المياه العذبة والمالحة

بالنسبة للجزر الصغيرة فى المناطق الإستوائية فهذا يعنى أن العمق حتى تلاقى المياه العذبة مع المالحة هو ٤٠ ضعف المسافة ما بين سطح منسوب المياه الإستاتيكى ومتوسط منسوب سطح البحر . إذا كانت هذه المسافة ١,٢ متر فإن منطقة التلاقى هى على مسافة ٤٨,٨ متر أسفل منسوب خط المياه الإستاتيكى . خفض هذه ١٠ سم أثناء الضــخ يعمل على رفع التلاقى بوضوح . فمثلاً إذا كان الإنخفاض ٠,٩ متر ، h_t هى ٠,٣ متر وسوف يكون التلاقى عند فقط ٤٠ قدم (١,٠١٦ متر) أسفل خط المياه .

رغــم أن المعادلـــة تعطـــى عمق تقريبى لتلاقى المياه المالحة ، إلا أن عاملين آخريـــن قـــد يؤثرا على المسافة الحقيقية . الإتصال بين العذبة والمالحة هو طبقة من المـــاء المخلـــوط والتى تغير الوضع الحقيقى للتلاقى . تدفق المياه الجوفية فى إتجاه البحر يؤثر على مكان التلاقى ، كما فى الشكل (١٣-١٢) . عندما يحدث التدفق كما هو عادة فإن التلاقى يكون أقل من المعادلة .

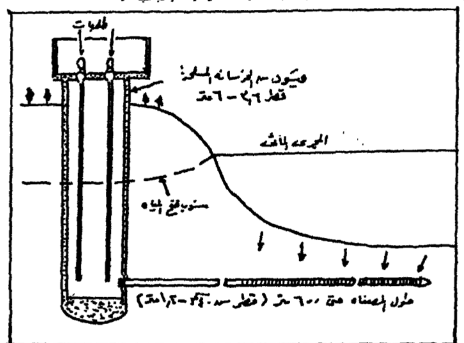


شــكل (١٣-١٢) تلاقى المياه العذبة بالمالحة فى (أ) يتساوى ضغط المياه العذبة مع المالحة ولذلك لا يحدث تسرب للمياه الجوفية وتظل منطقة التلاقى كما هى فى الحالة (ب) ضغط المياه الجوفية يزيد عن ضغط المياه المالحة عندئذ تتدفق المياه العذبة إلى البحر حيث منطقة التلاقى تتحرك فى إتجاه البحر .

آبار التجميع Collection Well

نموذج آخر من مصافى التجميع عند إمتداد المصافى من قيسون عمودى ضخم قريـــباً مـــن مجرى النهر أو البحيرة شكل (١٤-١٢) .المصافى لا تنشأ فى خنادق ، ولكنها تدفع أفقياً (Jackedout) فى قطاعات من القيسون . المصفاة المثقبة من الصلب بقطر ٤٠ سم حتى ١٢٢ سم يمكن دفعها لمسافة حتى ٦١٠ متر أسفل المصدر المائى، طبقاً لعمق طبقة الطمى (الغرين) (Alluvial) .

استخدمت المصافى من البلاستيك بالطريقة التلسكوبية بنجاح . بعد تنمية مناطق المصـــافى فإن المياه المتجمعة بواسطة المصافى الأفقية تعمل على رفع منسوب المياه فى القيسون حتى منسوب سطح المياه فى المصدر المائى . وبذا يعمل القيسون كخزان ضـــخم . يوضـــع فى القيسون فى طلمبة أو أكثر .نوع آخر من نظم التجميع والذى يسمى التجميع الدائرى ، حيث تستخدم مصافى متعددة ممتدة أفقياً خارج القيسون .هذا النوع مناسب لجمع مياه الفيضان ويمكن أن يوفر ملايين الأمتار المكعبة مع إنخفاض ضعيف . تكاليف آبار التجمبع أكثر مقارنة بالآبار الرئيسية .



شكل (١٤-١٢) بئر الجمع والمضفاة المدفوعة خارج القيسون الضخم .

آبار الحقن Injection Wells

تســـتخدم آبـــار الحقن لأغراض مختلفة ، منها الإمداد بالمياه والتحكم فى المياه الجوفية ، منجم السوائل ، التخلص من المخلفات ، الطاقة الجيوثيرمال (Geothermal energy) . لذلـــك فإن تصميم البئر وطريقة الإنشاء ستتغير طبقاً لإستخدامات البئر ، وفـــى جميع الحالات يلزم العناية بالتصميم والإنشاء نظراً لإحتمالات تلف بئر الحقن

عن البئر العادى . المشاكل المتعلقة بكيمياء المياه ودخول الهواء وتأثير الحرارة وضخ الـــرمال تعتـــبر مشاكل مألوفة وخطيرة بالنسبة لآبار الحقن . حيث ضخ مياه الحقن المحملة بالرمال ١ ملجرام / لتر يمكن أن يسبب إنسداد للبئر فى زمن قصير جداً .

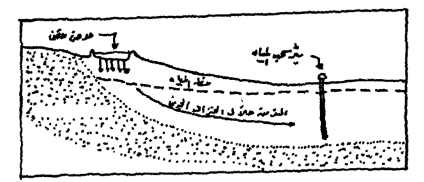
بإســـتثناء سرعة الدخول وطول المصفاة فإن القواعد التصميمية للآبار تنطبق علـــى آبار الحقن نظراً لأن معظم آبار الحقن قد تعمل كآبار ضخ فى بعض الأحيان. أكبر المشاكل فى آبار الحقن هو إنسداد المصفاة . متوسط سرعة دخول المياه فى بئر الحقـــن يجـــب أن تكون ١,٥ سم فى الثانية . ولهذا فإن المصافى يجب أن تتضاعف طالمـــا أن بـــئر الضخ يسحب نفس الحجم من المياه . بئر الحقن يجب أن يضخ مياه خالـــية من الرمال (لتوفير أقصى حقن مع أقل ضغط) سيتم التعرف على بعض آبار الحقن وخصائص تصميمها .

آبار الحقن للإمداد بالمياه : Recharge Wells for Water Supply

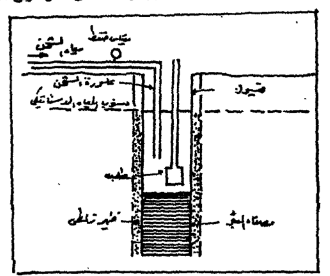
حقـــن المياه الجوفية بالطرق الصناعية يزيد من معدل وصول المياه من سطح الأرض إلـــى المياه الجوفية . يمكن حقن المياه بواسطة الآبار أو بنشرها على سطح الأرض لتتســـرب . إســـتخدام آبار الحقن لتغذية المياه الجوفية أصبح أسلوب مقبول لتبطئ أو للتغلب على السحب الجائر من المياه الجوفية . فى المناطق حيث عدم توفر المـــياه يمكن حجز المياه السطحية فى أحواض فى فصل الأمطار ثم حقنها فى المياه الجوفـــية فيما بعد بأحد طرق إنتشار المياه الموضحة فى الشكل (١٥-١٢) وقد تحقن المياه المعالجة فى فترات الذروة لتوفير المياه لحين الحاجة إليها . فى هذه العملية بين الشحن والسحب فإن وحدة المعالجة يمكن أن تعمل بمعدل ثابت خلال العام . مصادر المياه التى يمكن شحنها فى المياه الجوفية موضحة فى الجدول (١-١٢) .

تعتـــبر مواســـير الحقـــن جزء هام فى تصميم آبار الحقن الشكل (١٦-١٢) . ماســـورة الحقن يجب أن تنتهى أسفل خط المياه الإستاتيكى فى القيسون كما يجب أن تصمم لتوفير الضغط على كل طول الماسورة . يتم تركيب محابس عدم رجوع لمنع الضـــغط السالب فى ماسورة الحقن . عامل هام آخر وهو أن ماسورة الحقن يجب أن

يتوفر لها التدفق الكامل وبما يمنع إحتمالات حجز الهواء .



كل (١٥١٥□-١٢) الخزان الجوفى الغير محصوريمكن شحنه من خلال خزان لتسريب



شكل (١٦-١٢) نموذج لبئر الحقن فى تربة رملية متماسكة .

جدول (١-١٢) مقارنة لمصادر المياه المتوفرة للشحن الجوفى .

المصدر	مدى التدفق	القرب لموقع الشحن	الحجم
التخزين السطحى	أحياناً	محيطى	ضخم
مياه الأمطار	أحياناً	محيطى	متوسط
مياه صرف	مستمر	قريب	صغير
التسرب العميق بالرى	مستمر	قريب	ضخم
مياه فيضان	أحياناً	محيطى	صغير

فــى حالــة الــتربة ضعيفة التماسك فإن ضغط الحقن يجب التحكم فيه حتى لا يحدث تكسير فى التربة . فى حالة وجود تكسير سيحدث فقد فى التوصيل الهيدروليكى

. أمـــا فى حالة الحقن فى تربة صخرية متماسكة فإن تكسير التربة يساعد على معدل الشـــحن الجوفـــى . ولهـــذا فإن ضغط الحقن يجب التحكم فيه بحرص ليكون الضغط الموجب لا يزيد عن ٠,٢ h x حيث h هو العمق من سطح الأرض إلى قمة المصفاة (أو الحشو الزلطى) .

فـــى حالة حقن المياه فى بئر الشحن الجوفى يتكون قمع الشحن الذى يشبه فى شكله قمع الإنخفاض الذى يحيط ببئر الضخ ولكن بالشكل المقلوب . شكل (١٧-١٢) المعادلـــة المســـتخدمة فى الشحن يمكن إستخدامها بإستخدام الفرضيات لبئر السحب . بالنســـبة للخزان الجوفى المحصور حيث الحقن فى بئر مفتوح بالكامل بالنسبة للخزان الجوفى بمعدل Q . تطبق المعادلة التالية .

$$Q = \frac{Kb\,(h_w - H_o)}{0.366 \log (r_o / r_w)}$$

حيث :

Q = معدل الشحن متر مكعب فى اليوم .

K = التوصيل الهيدروليكى متر فى اليوم .

b = سمك الخزان الجوفى بالمتر

h = الضغط فوق قاع الخزان الجوفى بالمتر عند الحقن

Ho = الضغط فوق قاع الخزان الجوفى بالمتر عند عدم حدوث ضخ .

r_o = القطر المؤثر بالمتر

r_w = نصف قطر بئر الحقن بالمتر

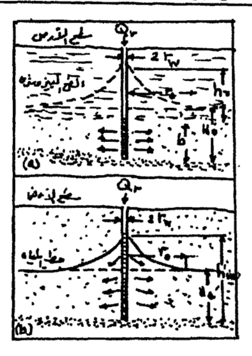
بالنســـبة لبئر الشحن الذى يخترق خزان جوفى غير محصور تستخدم المعادلة التالية

$$Q = \frac{K(hw^2 - Ho^2)}{0.733\, \mathrm{Log}\,(r_o / r_w)}$$

بمقارنة معادلة الضخ بمعادلة الشحن للآبار فإنه يتوقع أن طاقة الشحن ستساوى طاقـــة الضـــخ للبئر إذا كان قمع الشحن بنفس أبعاد قمع الانخفاض ولكن من الناحية

العملية نادراً ما يتساوى كليهما ونظرياً فإن بئر الشحن يفوق بئر الضخ ولكن المشاكل المتعلقة بنوعية المياه والعكارة وإرتفاع درجة حرارة الماء تقلل معدل الشحن خلال فترة زمنية قليلة . فمثلاً فى أى بئر ضخ فإن الرمال الرفيعة تزال من التربة بالضخ بإستمرار بينما لا تزال هذه الرمال الرفيعة أثناء الشحن ولكنها تتجمع فى التربة أو الظهير الزلطى خارج المصفاة . ومع الوقت يحدث إنسداد للتربة بما يخفض من طاقة الشحن. لهذا السبب ينصح بمضاعفة طول المصفاة فى حالة الشحن عنه فى حالة الضخ . بفرض أن الخزان الجوفى سميك ولخفض الصيانة فإن مناطق الرمل الجاف أو الزلط الجاف فوق الخزان الجوفى يمكن أن يكون بها جزء من المصفاة فى حالة إستخدام البئر فى الحقن الجوفى فقط . كما يحدث إنسداد لمسام التربة المحيطة بالمصفاة ليس فقط بالرمال والترسيبات ولكن كذلك بفقاعات الهواء المحتجزة فى بئر الشحن بما يخفض من التوصيل الهيدروليكى للتربة المحيطة كما يحدث الإنسداد بالترسيبات فى حالة شحن المياه المحتوية على تركيزات عالية من الأملاح المعدنية . كما يحدث الإنسداد بواسطة البكتريا وخاصة فى حالة شحن مياه دافئة فى مياه الخزان الجوفى الباردة بما يساعد على نمو البكتريا . يلزم الحذر وذلك بخلو المياه من البكتريا قبل حقنها فى التربة .

فى حالة إستخدام بئر الشحن كبئر إنتاج بعد فترة طويلة من الشحن . من المهم ضخ البئر إلى الصرف لمدة قصيرة لإزالة العكارة والترسيبات والمواد الأخرى المسببة للإنسداد . بالإضافة إلى بعض التنمية للإستخدام كبئر إنتاج لإستعادة البئر إلى طاقته الأصلية .



شكل (١٧-١٢) التدفق الأفقى من آبار الشحن التى تخترق (a) خزان محصور (b) وخزان جوفى غير محصور .

الآثار البيئية للشحن الجوفى Enviromental Effects of Recharge

الآثار الرئيسية للشحن الصناعى للخزان الجوفى يمكن تقسيمه إلى قسمين :

- مواجهة إمدادات المياه الغير متوفرة بتوفير مياه بإستخدام الخزان الجوفى للشحن والسحب .
- لمواجهة السحب الجائر من الخزان الجوفى فإن الشحن الجوفى يمكن أن يفيد فى الآتى :
  - خفض تكاليف التشغيل لخفض منسوب الرفع للطلمبة .
  - خفض حالات نقص المياه .
  - توفير فرص التوسع الأفقى بزيادة إمدادات المياه .
  - منع وصول مياه البحر إلى الخزان الجوفى الساحلى .
  - منع تسرب المياه العميقة شديدة الملوحة إلى الخزان الجوفى .
- منع إنخفاض منسوب المياه بالمحافظة على منسوب المياه الجوفية لتأكيد نجاح

مشـــروع الشـــحن الجوفى فإن الظروف الحقلية يجب أن توفر التخزين المناسب ، حركة المياه ، وإستخدام المياه التى تم شحنها . حيث يلزم توفير الآتى لعمل الشحن الجوفى

١ــ مـــن الناحـــية الجيولوجـــية يلزم أن يكون الخزان الجوفى مناسب بالنسبة لسعة التخزين والإنتقال

٢ــ التسرب : معدل الشحن يلزم إستمراره بمستويات مناسبة .

٣ــ المياه : يلزم توفر المياه اللازمة للشحن .

٤ــ الصرف : عند قرب خط المياه من سطح الأرض يلزم تجنب الشحن .

٥ــ نوعـــية المياه : يلزم أن تتناسب نوعية مياه الشحن مع المياه فى الخزان الجوفى وتكون درجة حرارتها مناسبة .

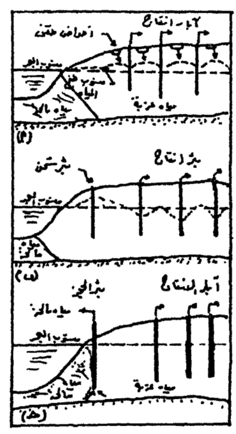
٦ــ كفـــاءة الإســـتعادة : يلزم ألا يكون الرفع كبير وأن طاقة الضخ تكون إقتصادية ونوعية المياه المسحوبة تكون مناسبة .

عـــندما تســـمح الظروف يمكن أن يكون الشحن الأرضى مؤثر وطريقة جيدة للمحافظة على إمدادات المياه المناسبة بتكاليف مناسبة .

الحد من إقتحام المياه المالحة : Control of Salt Water Intrusion

إن تعظـــيم الاستخدام للمياه الجوفية ساعد على تحرك منطقة التلاقى بين المياه العذبـــة والمياه المالحة فى إتجاه البحر (Inland) وقريبا من سطح الأرض .كثيراً من المجـــتمعات الـــتى واجهت مشاكل تعدى المياه المالحة قامت بحفر آبار إنتاجية قرب البحر . حالياً تتم الجهود للمحافظة على منسوب المياه الجوفية وذلك بتغذية خط المياه الجوفـــية مـــن خلال أحواض تصريف المياه بالتسرب أو مياه الأنهار لشحن الخزان الجوفـــى والمحافظة على ثبات خط المياه الإستاتيكى شكل (١٢/١٨ــ أ) وفى حالات أخرى أمكن الحد من إقتحام المياه المالحة بإنشاء آبار شحن جوفى عميقة حيث أمكن عمـــل حاجز من المياه الجوفية مسطحه مرتفع بما يكفى لمنع إقتحام المياه المالحة بما يمكن من الضخ أسفل منسوب سطح البحر داخل اليابسة بالنسبة للحاجز شكل (١٢/١٨

ـ ب) . فـــى بعض الحالات تستخدم آبار حجز قريباً من الشاطئ لجمع المياه المالحة وحـــث المياه العذبة بالتحرك التدريجى نحو البحر شكل (١٨/ ١٢ – جـ) وبهذا فإن استخدام آبار الحقن وأحواض الحقن وآبار الحجز مفيد جداً فى المحافظة على التدرج الهيدروليكى المناسب بين المياه العذبة والمالحة .



شكل (١٨–١٢) أساليب الحد من اقتحام المياه المالحة

طلمبات سحب المياه الجوفية :

يـــتوقف اختـــيار النوع المناسب من الطلمبات على مقدار التصرف المطلوب سحبه من البئر وعلى مقدار عمق السحب .

عندما تكون المياه الجوفية قريبة من سطح الأرض بحوالى ٥ متر على الأكثر أى أن مقدار السحب الكلى فى حدود سبعة أمتار (بعد حساب عمق هبوط سطح المياه

والفواقـد الـناتجة عـن الاحتكاك) . فى هذه الحالة تبنى قاعدة خرسانية على سطح الأرض حيـث تركب عليها المضخة وتحاط بحجرة من المبانى توضع بها المحركات الـتى تديـرها . الشـكل رقـم (١٩-١٢) يوضح التركيبات اللازمة لمضخة طاردة مركزية.

فـى حالة زيادة البعد بين المياه الجوفية وسطح الأرض عن خمسة أمتار عندئذ توضـع المضخة داخل بيارة (حجرة من المبانى تحت سطح الأرض) بحيث يكون البعد بين محورها وسطح المياه الجوفية فى حدود خمسة أمتار .. أما فى حالة الحاجة إلـى إنشاء بيارة على عمق يزيد عن سبعة أمتار من سطح الأرض فيتم استبعاد هذه الفكرة لصعوبة تنفيذها ولكثرة تكاليفها ويستخدم فى هذه الحالة الطلمبة الغاطسة وهى عـبارة عن طلمبة طاردة مركزية توضع داخل مواسير البئر تتصل مراوح بماسورة السـحب الموجـودة داخل قيسون البئر وملتصق بالطلمبة المحرك حيث يتم الحصول علـى الطاقـة الكهربية للتشغيل من مصدر كهربى فوق سطح الأرض . وقد تتصل مـراوح هـذه الطلمبة بعامود إدارة ممتد حتى سطح الأرض والذى يتصل بالمحرك اللازم لإدارته شكل (٢٠-١٢). والعامود بكامل طوله يدور فى مركز ماسورة السحب الموجودة داخل قيسون البئر . عامور الإدارة يعمل على دوران المضخة الموجودة فى نهايته السفلى وبذلك ترتفع المياه داخل ماسورة السحب إلى مسافة تتراوح ما بين ١٥ – ٧٥ متر .

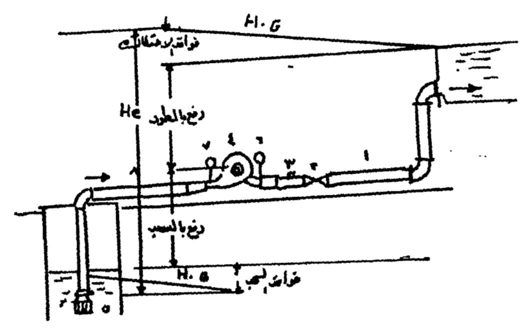
تحسب القوى المحركة للطلمبة مقدرة بالحصان الفرنساوى كالآتى :

بمعلومـية التصرف باللتر فى الثانية (Q) وبمعلومية مقدار الرفع المانوميترى (He) والذى يساوى الرفع بالسحب + مقدار الرفع بالطرد + مقدار الفقد بالاحتكاك فى مواسـير السحب والأكواع والمحابس عندئذ تكون القوة المحركة على عامود الطلمبة مقدرة بالحصان الفرنساوى = $\frac{Q \times He}{\mathfrak{J}\, 75}$

حيث $\mathfrak{J}$ كفاءة الطلمبة = ٠,٨ في المتوسط

قوة المحرك الكهربى بالكيلوات = قوة الماكينة × ٠,٧٤٦

وبالرجوع إلى كتالوج المنتج يمكن اختيار المضخة المناسبة للتصرف المطلوب



١ – ماسورة الضغط

٢ – محبس سكينة

٣ – محبس عدم رجوع

٤ – طلمبة طرد مركزى

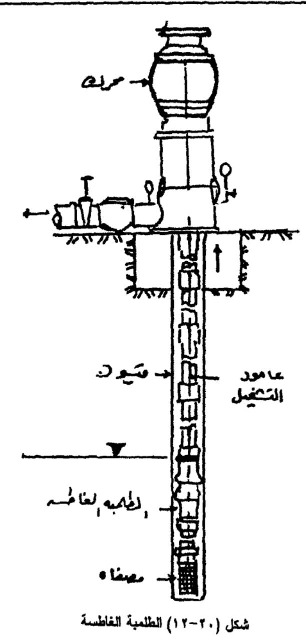
٥ – مصفاة (الفانوس)

٦ – مانوميتر الضغط

٧ – مانوميتر السحب

٨ – ماسورة السحب

شكل (١٩ –١٢) .



شكل (٢٠-١٢) الطلمبة الغاطسة

المراجع :

1- Meinez, O. E (ed) , Hydrology , MCGraw - Hill New york (1942) .

2- Ground Water and Wells , Johnson Division VOP. St. Paul, Ninnesota (1966) .

3- Ahrens, T.P., " Water Well Engineering " Water Well Journal VIII (1 , 2) (1958) .

4- Publications of the American Water Works Association (AWWA) .

5- Studies about Ground Water In Egypt Organized by the Eqyptian Society of Engineers (In 1998)


المحتويات

الفصل التاسع : تصميم بئر المياه ١٩٩

الفصل الحادى عشر :



إن إنتاج المياه الجوفية يعتبر كمورد إضافى تلبية الحاجه نظرا لمحدودية الموارد المائية وذلك لتلبية متطلبات التوسع الزراعى وخطط التنمية والأعاشة لإحتياجات الزيادة المستمرة فى عدد السكان .. ونظراً لندره الإصدارات العربية فى مجال المياه الجوفية فقد تم إعداد هذا المرجع لتحقيق الاستفادة لكل المهتمين باستعمالات المياه..

وقد يتم إعداد هذا المرجع فى ١٢ فصل هى كالتالى :

١- خواص التربة الحاملة للمياه الجوفية .
٢- طرق استكشاف المياه الجوفية.
٣- المناخ الهيدروليجى لمصر.
٤- كيمياء المياه الجوفية.
٥- طرق حفر الآبار.
٦- هيدروليكا البئر الجوفى.
٧- حالات الاستقرار والتغير فى معدلات الضخ.
٨- عوامل تصميم الآبار.
٩- تصميم بئر المياه.
١٠- مصافى الآبار وطرق تحليل حبيبات التربة .
١١- تنمية الآبار والاصلاح والصيانة.
١٢- الاستخدامات البديلة للآبار ومصافى الآبار.

بهذا يكون تم تناول جميع التقنيات الخاصة بإنتاج المياه الجوفية

والله من وراء القصد ،

الناشر



I.S.B.N 977-287-298-6

دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع
٥٠ شارع الشيخ ريحان - عابدين - القاهرة
☎ ٧٩٥٤٢٢٩
e-mail sbh@link.net